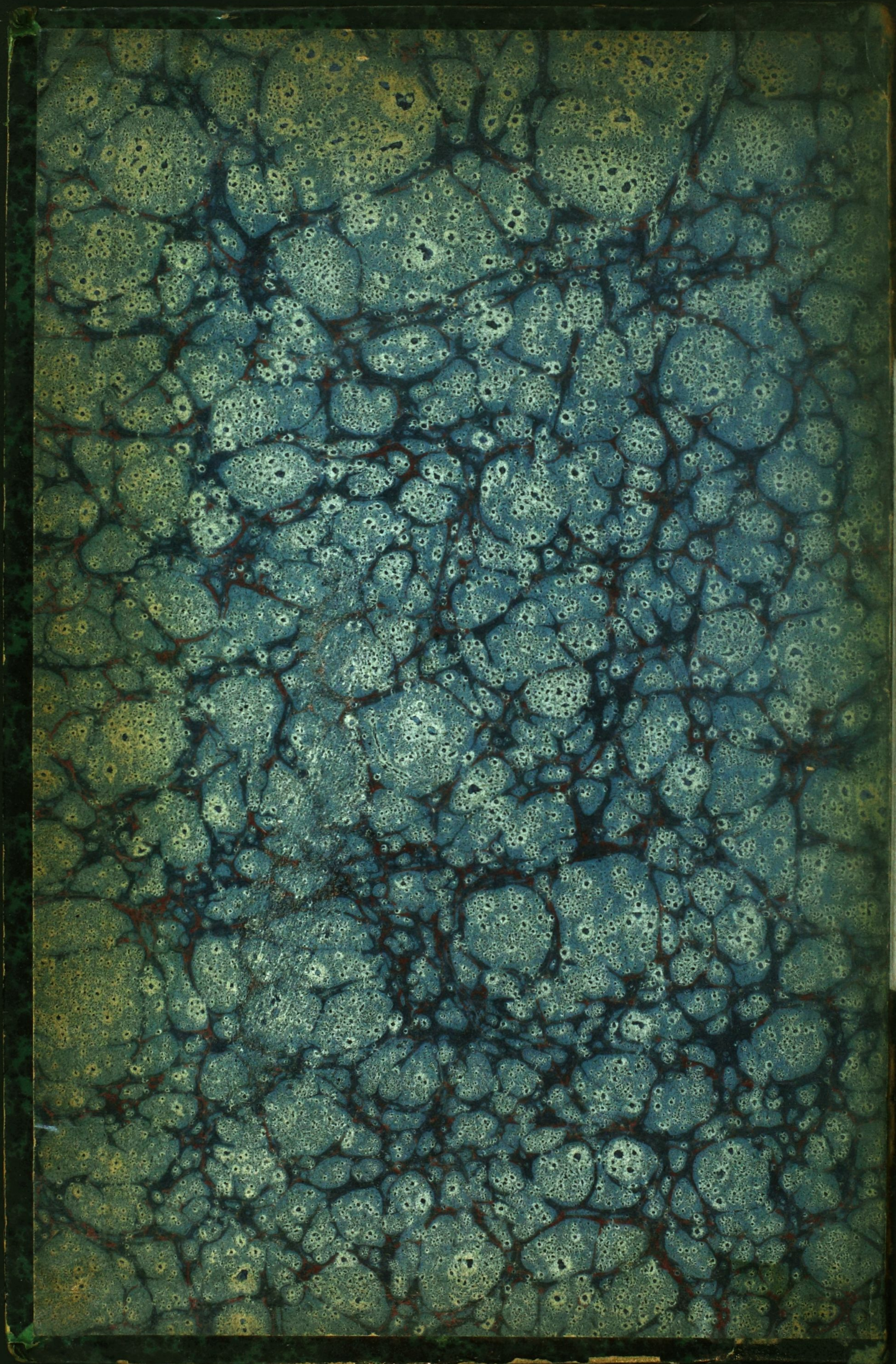
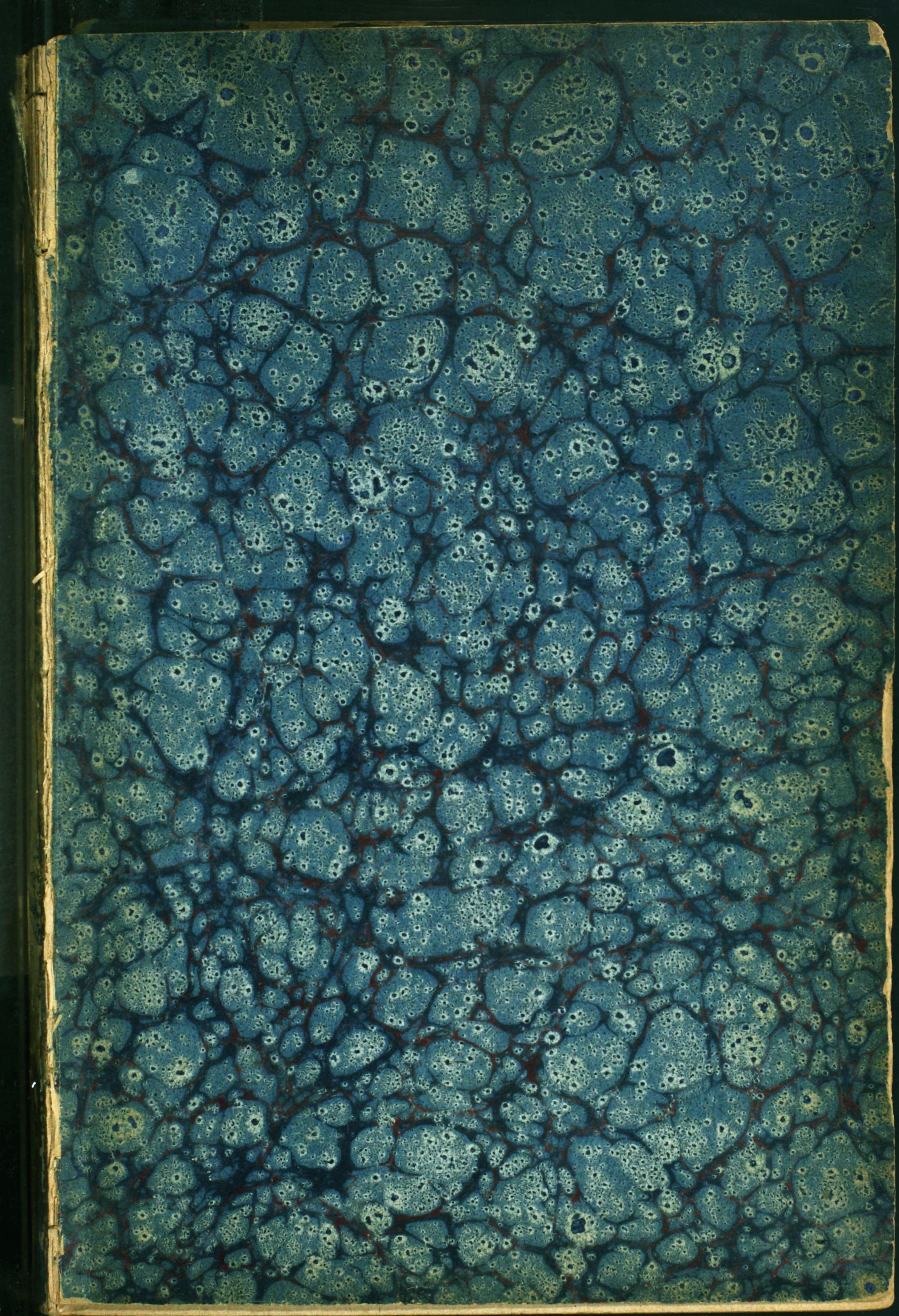






HISTOIRE GÉNÉRALE

DE

L'INDUSTRIE

HISTOIRE DE L'INDUSTRIE

Par A. BLEUNARD
DOCTEUR ÈS SCIENCES

3 forts volumes in-8........................ **22 fr. 50**

TOME I	TOME II	TOME III
Industries du Règne Végétal	**Industries du Règne Animal**	**Industries du Règne Minéral**
Industries du Papier. 1 fascicule.	**Industries des Matières animales non alimentaires.** 1 fascicule.	**Combustibles et Minéraux.** 1 fascicule.
Industries végétales non textiles. 1 fascicule.	**Industries alimentaires azotées.** 1 fascicule.	**Matériaux de construction et Industries chimiques.** 1 fascicule.
Industries textiles. 1 fascicule.	**Industries alimentaires non azotées.** 1 fascicule.	**Industries mécaniques et artistiques.** 1 fascicule.

Chaque volume se vend séparément : 7 fr. 50

CHAQUE FASCICULE SE VEND SÉPARÉMENT : **2 FR. 50**

6686-94. — CORBEIL. Imprimerie ÉD. CRÉTÉ.

HISTOIRE GÉNÉRALE

DE

L'INDUSTRIE

PAR

A. BLEUNARD

DOCTEUR ÈS SCIENCES

Industries du Règne Minéral

COMBUSTIBLES ET MINÉRAUX

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION
ET INDUSTRIES CHIMIQUES

INDUSTRIES MÉCANIQUES ET ARTISTIQUES

***



PARIS

LIBRAIRIE RENOUARD

H. LAURENS, ÉDITEUR

6, RUE DE TOURNON

COMBUSTIBLES ET MINÉRAUX

CHAPITRE PREMIER

COMBUSTIBLES

I. — PLOMBAGINE.

Le *diamant* et la *plombagine* ou *graphite* sont des variétés de charbon pur et cristallisé, très difficilement combustibles. Le diamant sera étudié dans le chapitre que nous réservons à la joaillerie.

La plombagine se présente sous la forme de paillettes ou de masses feuilletées et cristallisées. De couleur gris d'acier, elle est opaque, douce au toucher. Elle laisse une tache grise quand on la frotte sur un corps dur, semblable en cela au plomb, d'où son nom de *plombagine*. On la nomme aussi *graphite*, parce qu'elle sert à écrire sur le papier. La plombagine est un des corps bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité, d'où son emploi pour la fabrication des creusets et dans la galvanoplastie.

Le graphite est une substance assez rare, qui se rencontre toutefois dans un certain nombre de localités, mais généralement en faible quantité. Le principal gisement actuellement connu se trouve en Sibérie, dans les mines Alibert, au mont Batougnol, près Irkoutsk ; ce graphite, d'une pureté remarquable, se présente en blocs volumineux, au milieu de schistes anciens. On en exploite aussi près de Krasnoïarsk, mais plus impur. La Sibérie en fournit environ 1600 tonnes par an.

On trouve aussi du graphite en Angleterre, dans le Cumber-

land, à Keswick, surtout, où il sert à la fabrication de crayons d'une qualité renommée ; en Bohême, en Bavière, dans les localités de Mugrau et de Schwarzbach ; en Serbie, en Moravie ; dans la Basse-Autriche, près de Raabs ; en Silésie, en Prusse, en Finlande ; citons aussi les gisements de Huelma et de Runda, en Espagne ; de Vizeu, en Portugal. En France, on n'exploite que les seuls gisements du canton de Monêtier, dans les Hautes-Alpes, mais ils n'en fournissent guère que 16 tonnes par an. On a cependant signalé la présence de la plombagine au milieu de filons de quartz dans plusieurs localités des Côtes-du-Nord (Plancoët, Plouézec), de l'Ille-et-Vilaine (Saint-Servan, Châteauneuf près Saint-Malo), à Éguzon (Indre), dans la vallée de Suc (Ariège), à Saint-Jean-d'Arves (Isère), à Trémouilles (Aveyron). Les gisements de l'Indre et de l'Aveyron ont même donné lieu à des concessions inexploitées.

L'Asie, outre les mines si importantes de la Sibérie, contient encore des gisements activement exploités au Japon et dans l'île de Ceylan. Signalons enfin le graphite pur de la province de Wellington (Nouvelle-Zélande), des États de New-York, de New-Jersey et de New-Hampshire (États-Unis), des cantons de Buckingham et de Lochaber (Canada), d'Itabira et de la province de Minas (Brésil).

La plombagine sert principalement à fabriquer des crayons ; par mélange avec de l'argile, on en fait des creusets réfractaires. Le cambouis est un mélange de graisse et de plombagine employé pour lubrifier les rouages en bois. La plombagine est enfin utilisée pour métalliser en galvanoplastie les objets qui conduisent mal l'électricité et pour noircir les ustensiles en fonte et en fer, les poêles par exemple.

Crayons. — L'Angleterre eut pendant longtemps le monopole de la fabrication des crayons mous pour dessin. Ses mines du Cumberland fournissaient la plombagine nécessaire et l'exportation en était prohibée. L'Allemagne lui fit concurrence ; elle réussit à produire artificiellement la plombagine, en laissant refroidir lentement de la fonte saturée de charbon, puis dissolvant le fer au moyen de l'acide chlorhydrique : la plom-

bagine restait comme résidu. Les crayons se fabriquent maintenant un peu partout, depuis qu'on a découvert des gisements de graphite dans toutes les parties du monde. Quand on emploie le graphite pur, on se contente de tailler des prismes de cette matière et d'en remplir l'axe creux d'un cylindre de bois, taillé à la machine. Mais lorsqu'on se sert de graphite impur, on en fait une pâte avec de l'argile moulée ensuite sous forme des prismes par compression dans un cylindre de fer ; la pâte sort par un orifice rond ou carré, produisant ainsi des baguettes rondes ou carrées. On dessèche ces baguettes, on les calcine et on les introduit dans le cylindre de bois. Cette fabrication, due à Conté, a été perfectionnée par MM. Gilbert et C[ie], de Givet.

On fabrique plus de deux cent millions de crayons par an.

II. — HOUILLE.

La houille a été connue et employée de tout temps au chauffage dans les pays où elle affleure à la surface du sol ; on ne songea à l'utiliser en grand pour les besoins industriels qu'au XVIII[e] siècle seulement. Le bois fut longtemps le seul combustible ; mais, quand les forêts eurent disparu en majeure partie, on dut chercher un autre combustible plus abondant et moins cher. C'est en Angleterre, pays où la houille se rencontre à la surface du sol, qu'eurent lieu les premières extractions de quelque importance.

Cette exploitation de la houille a eu de grandes conséquences sur la civilisation et le progrès de l'humanité. La machine à vapeur, inventée pour extraire la houille et les eaux des mines, appliquée depuis à toutes les branches de l'industrie et aux moyens de locomotion, la machine à vapeur a profondément modifié l'état de la civilisation. Notons également que l'emploi de la houille amena la découverte du gaz d'éclairage.

Les mines de houille ne dureront pas éternellement et finiront un jour par s'épuiser ; mais le sol en renferme des provisions immenses qui suffiront encore pour des milliers d'années.

Il est impossible de prévoir un avenir trop lointain et de dire à quelles nouvelles sources de force l'homme puisera dans la suite des siècles. On utilisera peut-être les rayons du soleil, le mouvement des vagues et des marées ou le feu central de la terre.

La houille se présente sous plusieurs aspects : dans les terrains les plus anciens ou soumis à la compression par suite des grands mouvements du sol, elle est compacte, lourde, d'un aspect terne et se nomme *anthracite*. L'anthracite brûle difficilement, en décrépitant, en produisant une courte flamme et donnant très peu de fumée; il dégage beaucoup de chaleur. Il ne peut servir à la fabrication du gaz d'éclairage, car il renferme trop peu de matières volatiles; on ne peut non plus l'utiliser pour la forge, car il s'éteint trop facilement. Mais brûlé dans des foyers spéciaux il constitue un excellent combustible. Il convient à la cuisson des briques, des poteries, de la chaux, et remplace le coke dans les hauts-fourneaux.

La houille proprement dite est moins dense que l'anthracite et possède plus d'éclat ; on distingue la houille *grasse*, la houille *maigre* et la houille *sèche*.

La houille grasse se boursoufle en brûlant, s'agglutine, donne une longue flamme et dégage beaucoup de gaz ; on s'en sert pour la forge et pour la fabrication du gaz d'éclairage. Le *cannel-coal*, ou *charbon-chandelle*, exploité surtout en Angleterre et en Australie, est une houille très grasse, excellente pour le gaz d'éclairage ; elle produit en brûlant une flamme de très grandes dimensions. Les Anglais l'utilisent dans les campagnes pour le chauffage, et la flamme qui s'en dégage sert en même temps à éclairer la pièce dans laquelle on la fait brûler.

La houille maigre donne aussi une longue flamme, comme la houille grasse, mais elle ne s'agglutine pas.

Quant à la houille sèche, elle ne produit qu'une flamme courte, ne s'agglutine pas et sert à peu près aux mêmes usages que l'anthracite.

L'origine de la houille n'est pas encore complètement connue. Les géologues admettent cependant en majorité qu'elle est due à une putréfaction ou décomposition particulière d'énormes

masses de troncs d'arbres ensevelis dans le sol à des époques très anciennes. Les bassins houillers affectent généralement la forme de longues bandes, encaissées dans des calcaires et des schistes ; on en déduit que les arbres, arrachés par de violentes inondations, ont été roulés par des fleuves et ont formé d'immenses accumulations avant d'être ensevelis.

Extraction de la houille. — L'art de creuser et d'exploiter les mines a fait de très grands progrès pendant le XIXe siècle. On s'est contenté d'abord d'extraire la houille à la surface du sol ou à peu de profondeur ; mais les gisements superficiels s'étant vite épuisés, il a fallu creuser des galeries de plus en plus profondes. Les couches de houille sont généralement irrégulières, souvent discontinues et mélangées avec des matériaux inutiles. Grâce à des ingénieurs très habiles et à des dépenses énormes, on est parvenu à poursuivre et à atteindre les filons houillers dans les profondeurs du sol.

Les travaux exécutés dans les mines furent une cause d'immenses progrès pour la plupart des sciences : la géologie, la minéralogie, la physique et la chimie. Les voies ferrées, les machines à vapeur, les moteurs hydrauliques ont été appliqués au service de l'exploitation des mines. L'extraction des matériaux, leur montage à la surface du sol, la descente et la montée des ouvriers, l'extraction des eaux envahissantes, la ventilation, l'éclairage, la séparation des minerais utiles de la roche stérile, obligèrent les ingénieurs à inventer des appareils perfectionnés et contribuèrent ainsi aux progrès de toutes les branches de la science et de l'industrie.

Extraction du minerai. — On abat le minerai avec le pic, quand la roche n'est pas trop dure, ce qui est le cas de la houille ; mais lorsqu'il faut pénétrer dans la pierre, on a recours à des moyens plus violents, à la poudre ou même à la dynamite. Les trous, destinés à recevoir la matière explosive, sont creusés à l'aide de machines perforatrices, mues par la vapeur ou mieux par l'air comprimé. La poudre fut utilisée dans les mines dès le milieu du XVIIe siècle. Les mèches, destinées à communiquer le feu à la poudre, ont été perfectionnées, vers 1831, par Bick-

ford, en Angleterre; elles consistent en une corde goudronnée dont le noyau contient une poudre fusante. On se servait jadis de tubes en papier ou de tuyaux de paille, cause de graves accidents par suite d'une inflammation trop rapide. Les mèches sont aujourd'hui fabriquées en France par la maison Bickford, Davey et Chance, de Rouen.

Le minerai abattu est transporté à la base des puits d'extraction au moyen d'un réseau de voies ferrées et de wagonnets, traînés par des chevaux ou poussés par des hommes. La traction des wagonnets a lieu parfois au moyen de machines mues par l'air comprimé, ou d'un funiculaire actionné par une machine à vapeur fixe, ou encore par une machine hydraulique à haute pression. On se servira bientôt de moteurs électriques dont le courant sera fourni par une dynamo établie à la surface du sol.

La montée des matériaux s'effectue au moyen de puits dans lesquets sont installées des cages tirées par des câbles en fil d'acier qui vont s'enrouler sur un tambour mis en rotation par une machine à vapeur à deux cylindres conjugués. En cas de rupture du câble, un dispositif particulier, dit *parachute*, maintient la cage immobile au milieu des poutres de bois qui tapissent les parois du puits et forment un tube qui guide la cage, l'empêche d'osciller et de se renverser. Il est essentiel de rendre le renversement impossible, car la chute des matériaux contenus dans la cage causerait inévitablement la mort des hommes travaillant au fond du puits.

Montée et descente des ouvriers. — Elles avaient lieu jadis à l'aide d'échelles fixées le long des parois du puits d'extraction, d'où grande fatigue pour les travailleurs et perte de temps. Vers 1830, on inventa des échelles mobiles, nommées *fahrkunsts* en Allemagne, *engines* en Angleterre, *warocquières* en Belgique et en France. C'est un système d'échelles, animées de mouvements alternatifs de montée et de descente; les ouvriers passent d'une échelle à l'autre, en profitant du mouvement qui doit les faire descendre ou monter.

Épuisement des eaux. — L'épuisement des eaux, indispensable dans presque toutes les mines, est obtenu au moyen de

pompes puissantes, actionnées à la surface du sol par une machine à vapeur. Les forces dont on disposait autrefois pour la manœuvre des pompes étant trop faibles, un grand nombre d'anciennes mines furent abandonnées à la suite de l'envahissement des eaux. Leur exploitation redeviendrait possible aujourd'hui.

Ventilation. — Les mines doivent être fortement ventilées pour assurer la respiration des ouvriers et chasser les matières nuisibles répandues dans l'air : fumées dues à la déflagration de la poudre, poussières charbonneuses inflammables et grisou. L'aérage est obtenu par des courants d'air, au moyen de puits creusés à des profondeurs différentes, ce qui produit un double mouvement d'air chaud ascendant et d'air froid descendant. On se sert également de foyers d'aérage, véritables cheminées au fond desquelles on fait du feu, on encore de ventilateurs mus par des machines à vapeur, et qui aspirent ou refoulent de l'air.

Éclairage. — L'éclairage des mines de houille présente des difficultés particulières, à cause de la présence dans les galeries d'un gaz qui se mélange à l'air et détone au contact d'une flamme en produisant le feu grisou. On en était réduit jadis à faire enflammer le gaz par un homme qui, rampant dans les galeries, promenait une torche allumée dans les cavités où le gaz pouvait s'accumuler. Malheureusement ce serviteur dévoué était souvent victime d'une explosion du grisou.

Vers 1815, l'illustre physicien Davy et aussi George Stephenson, le futur inventeur de la locomotive, alors obscur ouvrier dans une mine de Newcastle, construisirent simultanément en Angleterre une lampe de sûreté qui a rendu et qui rend encore d'immenses services. C'est une lampe à huile dont la flamme est enveloppée d'une toile métallique. La toile absorbe la chaleur de la flamme, la disperse et le grisou ne peut plus être enflammé. Les coups de grisou sont malheureusement encore trop fréquents, car d'autres causes que les lampes peuvent mettre le feu au mélange détonant : les étincelles dues au choc des pics sur les pierres dures, l'explosion de la poudre ou de la dynamite et surtout l'imprudence des fumeurs.

L'éclairage des mines de houille par les lampes électriques à incandescence s'impose aujourd'hui ; tout danger est évité avec ces lampes hermétiquement closes, où le fil de charbon incandescent ne peut communiquer le feu au mélange explosif. La lumière électrique à arc est appliquée dans les mines où il n'existe pas de feu grisou.

Séparation du minerai utile de la roche stérile. — La houille, mélangée plus ou moins avec les roches encaissantes et non combustibles, était livrée telle quelle au commerce. Aujourd'hui on a inventé des machines ingénieuses qui classent, trient, lavent et dessèchent les houilles mécaniquement. On obtient ainsi un produit beaucoup plus pur et plus homogène qu'autrefois.

Statistique. — La consommation de la houille progresse avec une rapidité considérable : elle était de 35 millions de tonnes en 1845, de 130 millions de tonnes en 1858, de 248 millions de tonnes en 1872, de 486 millions de tonnes en 1890.

La valeur des combustibles minéraux atteint près de trois milliards et demi de francs par an.

TABLEAU DES PRINCIPAUX PAYS HOUILLERS,
AVEC LEUR PRODUCTION PENDANT L'ANNÉE 1889.

EUROPE.

	Millions de tonnes.
Angleterre	172
Allemagne	82
France	22
Autriche-Hongrie	23,5
Belgique	11
Russie	4,5
Espagne	1
Italie, Suède, Portugal, Grèce, Suisse, moins d'un million de tonnes.	

AMÉRIQUE.

	Millions de tonnes.
États-Unis	135
Canada	2
Chili, moins d'un million de tonnes.	

ASIE.

	Millions de tonnes.
Inde anglaise	1,5
Japon	2
Chine (Formose), moins d'un million de tonnes.	

AUSTRALIE.

	Millions de tonnes.
Australie	3,2
Nouvelle-Zélande et Tasmanie, moins d'un million de tonnes.	

Les chiffres précédents se rapportent en réalité à l'ensemble de tous les combustibles minéraux; les combustibles autres que la houille n'entrent que pour une très faible part et ne peuvent altérer sensiblement les résultats.

Bassins houillers de l'Europe.

France. — La France renferme un grand nombre de bassins houillers, très inégalement répartis sur la surface du territoire. Les combustibles minéraux ont donné lieu à 636 concessions, d'une surface de 563 363 hectares ; on n'exploite guère que la moitié de ces concessions. Le nombre des ouvriers mineurs est d'environ cent mille, dont les deux tiers travaillent dans les galeries souterraines ; les autres sont occupés aux travaux de l'extérieur. Il leur est distribué chaque année une somme de plus de cent millions de francs pour salaires.

Tableau des bassins houillers, rangés en quatorze groupes par l'administration des mines.

		Départements.
1° *Nord et Pas-de-Calais*	Valenciennes	Nord, Pas-de-Calais.
	Le Boulonnais (Hardinghen)	Pas-de-Calais.
2° *Vosges*	Ronchamp	Haute-Saône.
3° *Ouest*	Le Maine	Mayenne, Sarthe.
	Basse-Loire	Loire-Inf., Maine-et-Loire.
	Vouvant et Chantonnay	Deux-Sèvres, Vendée.
	Le Cotentin	Calvados, Manche.
	Saint-Pierre-la-Cour	Mayenne.
4° *Loire*	Saint-Etienne et Rive-de-Gier	Loire, Rhône.
	Sainte-Foy-l'Argentière	Rhône.
	Communay	Isère.
	Le Roannais (Roanne)	Loire, Rhône.
5° *Bourgogne et Nivernais*	Le Creusot et Blanzy	Saône-et-Loire.
	Decize	Nièvre.
	Épinac et Aubigny-la-Ronce	Saône-et-Loire, Côte-d'Or.
	Bert	Allier.
	La Chapelle-sous-Dun	Saône-et-Loire.
	Sincey-Forges	Côte d'Or, Saône-et-Loire.
6° *Bourbonnais*	Commentry et Doyet	Allier.
	Saint-Éloy	Puy-de-Dôme.
	L'Aumance (Buxière-la-Grue)	Allier.
	La Queune (Fins et Noyant)	Allier.
7° *Auvergne*	Brassac	Haute-Loire, Puy-de-Dôme.
	Champagnac, Bourg-Lastic	Cantal, Puy-de-Dôme.
	Langeac	Haute-Loire.
8° *Tarn et Aveyron*	Aubin	Aveyron.
	Carmaux	Tarn.
	Rodez	Aveyron.
	Saint-Perdoux	Lot.

9° *Gard*	Alais	Gard, Ardèche.
	Aubenas	Ardèche.
	Le Vigan	Gard.
10° *Hérault*	Graissessac	Hérault.
11° *Creuse et Corrèze*	Ahun	Creuse.
	Bourganeuf	Creuse.
	Cublac, Meymac et Argentat	Corrèze et Dordogne.
12° *Alpes occidentales*	Le Drac (La Mure)	Isère.
	Maurienne, Tarentaise et Briançon.	Hautes-Alpes, Savoie.
	Oisans et le Graisivaudan	Isère.
	Chablais et Faucigny	Haute-Savoie.
13° *Les Maures*	Les Maures (Fréjus)	Alpes-Maritimes, Var.
14° *Les Pyrénées.*	Ibantelly, Durban et Ségure	Basses-Pyrénées, Aude.

Les principaux groupes sont : Nord et Pas-de-Calais (12 300 000 tonnes en 1889); Loire (3 185 000 tonnes), Gard (1 851 000 tonnes), Bourgogne et Nivernais (1 594 000 tonnes), Tarn et Aveyron (1 147 000 tonnes); viennent ensuite les groupes du Bourbonnais, de l'Auvergne, de l'Hérault, de la Creuse et de la Corrèze, des Alpes Occidentales, de l'Ouest, des Maures et des Pyrénées, où l'extraction a été peu considérable.

La France ne se suffit pas à elle-même; en 1889, elle a demandé 10 millions de tonnes de houille à l'étranger, principalement à la Belgique (5 millions de tonnes), à l'Angleterre (4 millions de tonnes) et à l'Allemagne (1 million de tonnes).

Les industries consommant le plus de houille sont : la métallurgie (5 millions de tonnes), les chemins de fer (3 300 000 tonnes) et les mines (1 787 000 tonnes), ce qui représente le tiers de la consommation totale.

La Belgique exploitait depuis longtemps une puissante couche de houille qui s'étend à découvert depuis Liège jusqu'à Mons et Charleroi, quand, en 1717, Nicolas Desaubois, soupçonnant que cette couche de houille se prolongerait souterrainement sur le territoire français, observa, après de nombreuses recherches, la présence du précieux combustible entre la Scarpe et l'Escaut, à Fresnes. Les débuts de l'exploitation ne furent pas heureux. La veine de houille était pauvre et l'entreprise fut ruinée. Enfin, en 1734, on put heureusement découvrir des veines très riches; on fonda cette puissante Compagnie d'Anzin qui fournit de la houille à toute la région avoisinante du département et à nombre d'industries du nord de la France. Actuellement la Compa-

gnie d'Anzin possède 280 kilomètres carrés de concessions, entre Scarpe et Escaut, sur les communes d'Anzin, Raismes, Fresnes, Hasnon, Odomez, Denain, Saint-Saulve et Vieux-Condé. Il existe dans la région concédée à cette Compagnie un grand nombre de puits d'extraction, où des milliers d'ouvriers sont occupés à extraire le charbon du sein de la terre au moyen de galeries creusées à de grandes profondeurs.

Les travaux de mine ont reçu à la Compagnie d'Anzin tous les perfectionnements successifs : machines d'extraction, puits d'aérage, boisages, remblais, etc., le tout est admirablement combiné pour un travail irréprochable. La Compagnie s'est également occupée de l'amélioration du sort de ses ouvriers. Elle a construit des logements et institué des œuvres de prévoyance. En même temps, grâce à un fonds considérable de réserve, elle a pu supprimer le chômage pendant les années de crise, entretenir et améliorer sans cesse son matériel.

Douai est un point remarquable dans le bassin houiller du Nord. La houille provient souterrainement en ligne droite de la Belgique sur Douai, en passant par Anzin, Denain et Aniche, en s'enfonçant de plus en plus sous le terrain crétacé. A Anzin, l'épaisseur des morts-terrains est déjà de 80 mètres. A partir de Douai, la houille fait un brusque détour et remonte vers le nord. Pendant longtemps on avait fait des recherches infructueuses dans le prolongement d'Aniche, du côté d'Arras. Mais, en 1841, un sondage entrepris dans la propriété de madame de Clercq, à Oignies, près Douai, dans le but de creuser un puits artésien, fit découvrir le terrain houiller, montrant son changement de direction. Dès lors les recherches furent dirigées vers le nord, et le bassin de Béthune fournit actuellement plus de houille que celui du Nord proprement dit. Les principaux puits d'extraction sont situés à Lens, Courrières, Vicoigne, Béthune, Bruay, Marles, Liévin, etc. Le nombre des couches exploitables est de 58, à des profondeurs variant de 180 à 360 mètres.

Le bassin houiller de la Loire est le plus anciennement exploité de ceux de France. Les puits les plus importants sont groupés aux environs de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier. Cette houille,

excellente pour la forge et les usages métallurgiques, a déterminé dans cette région montagneuse l'agglomération industrielle métallurgique la plus remarquable de notre pays.

Le bassin houiller de la Basse-Loire est sans importance; nous le signalons uniquement à cause d'un fait particulièrement intéressant. Ce bassin traverse la Loire à la hauteur de Chalonnes et de Montjean. A Chalonnes, les ingénieurs ont eu à lutter contre de grandes difficultés pour percer des puits à travers les sables inondés du fleuve. M. Triger, en 1842, y appliqua pour la première fois sa méthode où l'air comprimé, chassant l'eau, permet de creuser à sec au milieu des couches aquifères.

Angleterre. — Ce pays, grâce à ses 15 000 kilomètres carrés de terrains houillers, situés généralement à peu de profondeur au-dessous du sol, occupe le premier rang dans le monde entier pour la production des combustibles minéraux. Il sera cependant prochainement dépassé par les États-Unis, dont les progrès sont beaucoup plus rapides encore que ne l'ont été ceux réalisés en Angleterre.

La houille, prise à la mine, coûte deux fois moins cher en Angleterre qu'en France; on conçoit l'importance de ce bas prix pour les industries grandes consommatrices de charbon.

Les principales régions houillères sont situées dans le Durham, le Northumberland, le Yorkshire, le Derbyshire, le Lancashire et le Sud du Pays de Galles. On exploite aussi un peu de houille en Écosse et en Irlande. L'Irlande, bien que le calcaire carbonifère domine dans la constitution de son sol, est cependant très pauvre en houille.

En Angleterre, on substitue l'anthracite au coke pour le chauffage des poêles.

Allemagne. — Les principaux gisements houillers de l'Allemagne sont : le bassin de la Ruhr ou de Westphalie, sur la rive droite du Rhin, qui se prolonge au loin en Belgique et même jusqu'en France, dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais ; celui de Sarrebrück, sur le versant méridional du Hündsrucke, qui continue dans la Bavière Rhénane; celui de la Haute-Silésie, le plus riche de tous, qui se prolonge jusqu'en

Pologne et en Moravie; celui de la Saxe et six autres bassins moins importants.

Autriche. — La Bohême renferme un riche bassin houiller qu'on retrouve dans la Moravie et la Silésie autrichienne. Citons aussi les bassins de Funfkirchen en Hongrie et de Steyerdorf dans le Banat.

Belgique. — Ce pays est traversé de l'est à l'ouest par la plus riche bande de houille du continent européen. Elle part d'Aix-la-Chapelle, en Allemagne, passe à Liège, à Namur, à Charleroi et aboutit à Valenciennes, en France, où elle devient souterraine. En Belgique, cette bande de houille affleure le plus souvent à la surface du sol. A Charleroi, par exemple, on trouve des couches de houille en creusant les caves des maisons. Les mines les plus importantes sont situées dans le Hainaut, entre Mons et Charleroi ; viennent ensuite celles de Liège et de Namur.

Russie. — Le bassin du Donetz comporte une étendue considérable de terrain ; mentionnons encore la riche zone houillère qui s'étend depuis Moscou jusqu'à la mer Blanche, celle qui accompagne l'Oural sur ses deux versants et qui se poursuit jusque sur l'Altaï. On trouve de la houille dans le Caucase, de l'anthracite à Rostov, sur le Don, de la houille à Dombrowa en Pologne, sur le prolongement du bassin allemand de la Haute-Silésie. La Russie est loin de produire toute la houille que pourraient facilement lui procurer ses immenses gisements. On compte cependant déjà près de deux cents puits d'extraction.

Les bassins houillers de la mer Blanche se prolongent jusque dans les régions polaires, car on trouve de la houille en quantité dans le Spitzberg.

Espagne. — Ce pays possède de riches bassins houillers ; mais le peuple espagnol, trop amoureux du soleil pour s'enterrer vivant dans les mines, ne les exploite guère encore. Citons les bassins d'Oviedo ou des Asturies, de Palencia, de Léon, de Belinès et d'Espiel dans la Sierra-Morena, de la Catalogne, de Séville, etc.

Le Portugal est pauvre en gisements houillers ; il en est de

même de l'Italie où l'on trouve un peu d'anthracite dans la vallée d'Aoste (Alpes) et à Seni (Sardaigne).

Bassins houillers de l'Asie.

Asie Mineure. — Il existe un peu de houille en Asie Mineure, sur le littoral de la mer Noire, entre Eregli et Amasry.

Indes Anglaises. — Les gisements houillers y forment quatre groupes : celui du Bengale, entre Calcutta et Bombay, le plus important ; celui de Rewab, Sirguja, Bilospur, Chutia, Nagpur ; celui de la vallée de Nerbudda, enfin celui de Chanda et de Godavery.

Annam et Tonkin. — Ces pays renferment de précieuses ressources en houille pour la navigation en Extrême-Orient. On exploite des mines à Trang-Son, près Tourane dans l'Annam, à Hongay, près Quang-yen, à Dongtrieu à l'est du Delta et dans l'île de Kébas, dans le Tonkin.

Iles Philippines. — Il existe de la houille dans l'île de Cebré.

Chine. — La surface des terrains houillers connus y atteint un développement trente-trois fois plus considérable qu'en Angleterre, assurant au monde des ressources futures pour des milliers d'années. Les plus importants gisements se trouvent dans les provinces d'Yun-nam et de Shansi ; d'après les calculs des géologues, la province d'Yun-nam renfermerait 730 milliards de tonnes de houille, pouvant suffire à la consommation pendant vingt-quatre siècles. La houille est à peine exploitée par les Chinois.

Japon. — Le Japon est aussi riche en houille que la Chine. L'île de Yédo en contient au moins 400 milliards de tonnes. Les gisements exploités sont déjà nombreux et ce pays tend à marcher de pair avec les principales nations civilisées de l'Europe.

Bassins houillers de l'Afrique.

L'Algérie possède des couches d'anthracite inexploitées.

On a signalé de la houille à Madagascar, de même que sur les bords du lac Nyanza, dans l'Afrique centrale.

On en exploite un peu dans la colonie du Cap.

Ce continent est à peine exploré et nous réserve peut-être des surprises.

Bassins houillers de l'Amérique.

États-Unis. — La houille et l'anthracite y occupent une surface de 518 000 kilomètres carrés. Les principaux gisements exploités sont ceux des États de Pensylvanie, de l'Ohio, d'Alabama, du Maryland, de Virginie, de l'Illinois, de Michigan, d'Iowa, du Kentucky, du Missouri et des Territoires des Apalaches. Sur quarante-quatre États, vingt-cinq contiennent des combustibles minéraux.

En 1890, il a été extrait 45 millions de tonnes d'anthracite sur un total de 150 millions de tonnes de combustibles minéraux : c'est dire combien les États-Unis sont riches en anthracite. Il y a près de 300 000 ouvriers dans les mines de houille.

Amérique Anglaise. — On trouve de la houille dans la Colombie Anglaise, sur le parcours du chemin de fer Transcanadien, de la baie de Fundy aux rives de l'Atlantique.

Il en existe aussi dans la Nouvelle-Écosse, dans le Nouveau-Brunswick, à Terre-Neuve et jusque dans les régions les plus voisines du pôle.

Amérique du Sud. — On exploite de la houille au Chili et dans le Brésil (provinces de Sainte-Catherine et de Rio-Grande-do-Sul).

Bassins houillers de l'Australie.

Signalons des couches puissantes de houille dans la Nouvelle-Galles-du-Sud, dans la province de Victoria et dans la Tasmanie, ou Terre de Van Diemen. A mentionner également les couches nouvellement découvertes de Westport, dans la Nouvelle-Zélande, situées au bord de la mer, à une altitude variant de 250 à 900 mètres.

La Nouvelle-Calédonie possède quelques gisements houillers.

III. — LIGNITE.

Le lignite est un charbon compact, servant au chauffage comme la houille ; sa flamme est longue, fumeuse et dégage une odeur désagréable. Il conserve souvent une texture qui rappelle son origine : il résulte, en effet, d'une fermentation subie dans le sol par des arbres de différentes essences. Il est parfois d'un noir éclatant, susceptible d'un beau poli et sert à fabriquer des objets de parure pour deuil : il se nomme dans ce cas particulier *jais* ou *jayet*. Certaines variétés pulvérulentes, comme la *terre de Cassel*, sont utilisées pour la peinture.

Les gisements de lignite, en France, sont groupés dans cinq régions : les Vosges Méridionales, le Haut-Rhône, le Comtat, la Provence et le Sud-Ouest.

La Provence fournit à elle seule les quatre cinquièmes de la production totale de la France, c'est-à-dire environ 400 000 tonnes par an. L'extraction des lignites se ralentit d'ailleurs chaque année. Dans les Bouches-du-Rhône, les couches, très puissantes, appartiennent au terrain tertiaire. Ce combustible est principalement consommé par l'industrie de Marseille. Compact, noir, très flambant, ne donnant pas de coke, il passe très rapidement à la grille, ce qui est un grave défaut.

Les autres gisements importants d'Europe se trouvent en Allemagne, en Autriche, en Suisse, en Russie, en Suède et en Italie.

L'Allemagne en retire chaque année 15 millions de tonnes d'un grand nombre de gisements facilement accessibles, en Saxe, dans les districts de Marsebourg et de Magdebourg, dans le Brandebourg, la Hesse-Électorale et dans les pays montagneux du Vogelsberg, du Habichtswald. L'Autriche exploite des lignites d'excellente qualité en Bohême, en Moravie, en Styrie, en Hongrie, en Gallicie, en Transylvanie, dans la Haute et la Basse-Autriche. Citons les gisements russes des régions centrales, des steppes des Kirghiz, d'Orenbourg, etc. ; les gisements italiens de la Toscane, du Piémont, de la Ligurie, de la Lom-

bardie, de la Venétie, dont quelques-uns, par exemple celui du Monte Bamboli, fournissent un produit rivalisant avec la houille; ceux de la province de Malmohus, en Suède; ceux du Spitzberg, d'un âge récent, démontrant que cette contrée, glacée à cette heure, possédait des forêts luxuriantes à une époque relativement peu éloignée.

En dehors de l'Europe, nous n'avons à signaler que les lignites du Chili, qui s'étendent le long de la côte du Pacifique, depuis Topocatma jusqu'au détroit de Magellan; les lignites de Sumatra et de Bornéo et ceux de la Nouvelle-Calédonie et de la Nouvelle-Zélande.

IV. — TOURBE.

La tourbe, d'origine récente, continue même à se produire actuellement. Elle est due à la putréfaction aqueuse des végétaux croissant au fond des marécages, spécialement de l'espèce *sphagnum*.

Dans les couches profondes et plus anciennes, la tourbe est massive, d'une couleur brun noirâtre ; dans les couches superficielles, elle se présente avec une texture spongieuse et une coloration claire.

Elle brûle en produisant peu de chaleur, une fumée épaisse, une odeur désagréable. Il faut, avant de la brûler, la dessécher à l'air, ou mieux dans une étuve, entre 100° et 200°. On la convertit en mottes ou en boules, au moyen d'une machine spéciale, construite par Eichhorn. Cette machine broie la tourbe et la transforme en une pulpe qu'on moule en cylindres continus et qu'on découpe sous forme de briques. Pour transformer ces briques en boules, il suffit de les agiter dans un tambour mû mécaniquement. La tourbe brûle mieux sous la forme sphérique que sous toute autre.

Une autre méthode, excellente, consiste à carboniser la tourbe dans des meules, par un procédé semblable à celui de la fabrication du charbon de bois, de manière à expulser les matières volatiles. On se sert de ce charbon pour chauffer les fours, les chaudières, les fourneaux de cuisine.

La tourbe reçoit encore d'autres applications intéressantes. Les paysans, dans certains pays, utilisent la tourbe depuis un temps immémorial pour panser et guérir les plaies envenimées. On lui a reconnu, en effet, des propriétés antiseptiques dont les médecins tirent parti aujourd'hui. On la transforme en une sorte de ouate qui remplace la charpie pour le pansement des blessures. On tisse aussi avec cette ouate des étoffes, des couvertures et des tapis.

La tourbe jouit de propriétés absorbantes, analogues à celles du noir animal. En Allemagne, on la pulvérise et on l'utilise pour désinfecter les fosses d'aisances après leur vidange et pour détruire les odeurs du fumier dans les étables.

La tourbe est un combustible de plus en plus délaissé en France, ainsi qu'en fait foi le tableau suivant, où sont mentionnées les quantités extraites depuis 1845 :

	Tonnes.
1845	520 000
1855	492 000
1875	318 000
1889	160 000

Les départements producteurs de tourbe sont : la Somme (61 000 tonnes), la Loire-Inférieure, l'Oise, l'Aisne, le Pas-de-Calais et le Doubs. Le travail d'extraction ne dure que quelques semaines pendant l'année; dans quelques communes, la faculté de tourber appartient à tous les habitants.

Les tourbières de la Somme sont situées entre Saint-Quentin et Abbeville, surtout dans les environs d'Amiens. On calcine la tourbe très pyriteuse, et les cendres servent d'engrais ou à la fabrication de la couperose verte (sulfate de fer du commerce).

La tourbe constitue aussi l'une des grandes richesses minérales de la Loire-Inférieure, auprès de Saint-Nazaire.

« La Grande-Brière-Mottière, dit M. Audiganne, est un pays étrange, d'un aspect tout particulier. En été, elle affecte l'apparence d'une immense plaine gazonnée d'une superficie de 8000 hectares ; en hiver, c'est un lac immense dont la profondeur ne dépasse pas un mètre. A perte de vue, l'œil n'aperçoit

ni un arbre, ni une habitation ; toute la population est rassemblée sur les bords, où abondent les villages.

» La couche tourbeuse se rencontre sur une épaisseur moyenne de deux mètres. Pour tourber, on enlève d'abord la couche terreuse qui recouvre la tourbe, puis on taille à même dans la masse du combustible au moyen d'une bêche. Ce vaste marais offre un spectacle bien curieux au mois d'août, au moment où l'extraction de la tourbe est autorisée, pendant neuf jours seulement. Toutes les familles se transportent sur le marais et vivent sous des tentes pendant toute la durée des travaux. Hommes, femmes et enfants prennent leur part à l'extraction. Après le tourbage, il faut faire sécher les mottes en les exposant en tas au soleil. Puis, quand l'hiver est arrivé et que tout le pays est transformé en lac, on transporte la tourbe pour Nantes au moyen de bateaux plats, nommés *blains*.

» La Grande-Brière a été formée vers le VIIIe siècle à la suite d'un affaissement général du sol. Toute la contrée était jadis recouverte par une forêt immense, dont on retrouve encore les troncs desséchés et qui peuvent servir pour les constructions. La tourbière appartient à tout le monde, c'est-à-dire aux nombreux villages qui l'entourent. C'est une source inépuisable de richesse ; car, outre la tourbe qui se renouvelle sans cesse, on y fait encore paître des moutons et des vaches pendant l'été, et on y chasse le canard pendant l'hiver. La misère est inconnue dans ce coin retiré de la France. La famille est nombreuse ; les maisons simples, mais d'agréable apparence, respirent partout la douce gaieté et l'aisance. Des maisons d'école et des églises monumentales y ont été élevées par souscription publique. Aussi personne ne demande le partage de la propriété commune. »

La tourbe occupe de vastes espaces en Écosse, en Irlande, en Hollande, où elle est une ressource précieuse pour ce pays dépourvu de houille et de lignite ; en Suède, où son exploitation est presque nulle à cause de l'abondance du bois ; en Italie, dans le Piémont, la Lombardie et la Vénétie ; en Bavière, en Westphalie, dans le Hanovre et la Silésie, où elle occupe

des surfaces immenses ; dans la Hongrie, etc. Elle est très activement exploitée au Canada, où certaines rivières en sont obstruées.

V. — COMBUSTIBLES ARTIFICIELS.

Charbon de Paris. — On a utilisé tous les débris combustibles : poussiers de charbon de bois, de coke et de tourbe, débris de cuisine et balayures des marchés, brindilles de bois, menus branchages, bruyères, genêts, tan, etc. Tous ces débris doivent être d'abord carbonisés dans un cylindre, chauffé avec les gaz combustibles qui se dégagent pendant la calcination. Le charbon est pulvérisé, puis pétri avec du goudron de houille ; la pâte est moulée dans des cylindres, séchée, puis carbonisée de nouveau dans un four, à l'abri de l'air.

Ce charbon, dit *de Paris*, brûle lentement, régulièrement et en dégageant beaucoup de chaleur.

Le charbon pour chaufferettes se fabrique en moulant un mélange de charbon, d'argile, de dextrine et de salpêtre : l'argile et la dextrine agglomèrent les particules de charbon ; le salpêtre active la combustion.

Agglomérés. — En Belgique, dès la fin du XVIIIe siècle, on utilisait les poussiers de houille en les mélangeant avec de l'argile pour en faire des *briquettes* ou *hochets*.

L'Allemagne traite de la même façon les poussiers de lignite.

C'est encore par cette méthode primitive que se préparent aujourd'hui les briquettes de ménage : on ajoute à la houille en poussière de 10 à 20 p. 100 de son poids en argile et un peu de chaux ; la chaux facilite la combustion et donne un plus vif éclat. On malaxe le tout avec de l'eau et on moule.

Les poussiers de houille servent aussi à la préparation des grosses briquettes, dites *agglomérés*, utilisées pour le chauffage des machines à vapeur et particulièrement de celles à traction ou à propulsion, des locomotives des chemins de fer et des machines des navires tant fluviaux que maritimes. Ce procédé permet d'utiliser l'anthracite, qui ne pourrait brûler seul. Les premiers agglomérés furent fabriqués en 1833, à Saint-Étienne,

par MM. Ferrand et Marsais, à l'usine de la Chaléassière. La houille était primitivement mélangée avec du goudron ; en 1842 M. Marsais substitua le brai gras au goudron, c'est-à-dire le résidu obtenu en distillant le goudron de manière à lui enlever le quart de ses matières volatiles. On se sert aussi du brai sec, obtenu au lieu du brai gras, quand on pousse plus loin la distillation du goudron. La valeur du brai augmente malheureusement chaque année, et ce produit deviendra rare quand l'éclairage électrique se sera complètement substitué au gaz.

Les menus de houille sont d'abord lavés, ce qui permet d'exploiter des couches de houille très mélangées de schistes et autrefois délaissées. On les chauffe ensuite avec du brai et on les moule au moyen de la presse hydraulique. On peut aussi remplacer la houille par les poussiers de coke, qui sont de nulle valeur dans les usines à gaz.

On a proposé de remplacer le brai par du silicate de soude, ayant l'avantage de ne pas donner de fumée et de rendre les agglomérés moins friables. Mais on se prive ainsi de l'action du brai, matière très combustible, augmentant le pouvoir calorifique des agglomérés.

Toutes les mines de houille fabriquent aujourd'hui des agglomérés.

VI. — PÉTROLE.

Le *pétrole* ou *naphte* est connu de toute antiquité ; liquide plus ou moins coloré, le plus souvent d'un noir verdâtre, à reflets légèrement irisés, il s'écoule par des sources ou imprègne le sol dans un grand nombre de localités. Il fut employé comme combustible depuis les temps les plus reculés par les habitants des contrées où il en existe des sources : en Italie, en Perse, dans l'Inde, sur les bords de la mer Caspienne, à Java, dans l'Amérique du Nord. Fait singulier, ce précieux combustible fut dédaigné pendant une longue série de siècles parce qu'on ne savait pas le purifier. Vers 1830, on fabriqua un pétrole artificiel en distillant des schistes bitumineux ; l'attention se porta dès lors sur le pétrole naturel et l'on creusa

partout des puits pour l'extraire du sol. Les pétroles des États-Unis abondèrent bientôt et prirent en quelques années une importance considérable. Il y a peu d'exemples semblables à citer d'un produit naturel dont la fortune a été aussi rapide.

Voici quelques chiffres qui prouvent l'étonnante progression de la consommation du pétrole. En 1880, la France a importé 59 000 tonnes de pétrole ; en 1890, ce chiffre s'est élevé à 184 000 tonnes et il serait certainement le double ou le triple sans les droits exorbitants qui frappent un produit si utile. Le pétrole fournit en effet la lumière et la chaleur à bon marché.

L'extraction du pétrole ne présente pas de grandes difficultés. Il suffit de creuser dans le terrain pétrolifère des trous de sonde de 8 à 10 centimètres de diamètre et d'une profondeur très variable. Cette profondeur, en moyenne de 20 à 70 mètres, atteint et dépasse même 200 mètres aux États-Unis. Parfois, quand le trou de sonde atteint un réservoir où l'huile est sous pression, le liquide jaillit avec une violence inouïe ; le plus généralement il faut extraire le pétrole au moyen de pompes. Le difficile, ce qui exige un flair spécial, c'est de tomber sur un réservoir souterrain ; il arrive souvent de ne rien trouver avec des puits creusés à quelques mètres de distance d'un puits où le précieux liquide abonde. La découverte du pétrole est donc le plus souvent affaire de pur hasard.

Le pétrole ne peut être transporté dans des tonneaux en bois, car il filtre et les dangers d'incendie deviennent trop grands. De plus, quand le tonneau est trop plein, il éclate sous l'action d'une trop forte dilatation du liquide due à l'influence d'une faible élévation de température. Il faut le transporter dans des tonneaux en tôle de fer, hermétiquement clos.

Quelle est l'origine du pétrole ? — On a émis trois hypothèses. Ce serait le résultat d'une distillation, sous l'influence de la chaleur centrale du globe, de couches de houille situées à de grandes profondeurs ; ce serait le résultat de la fermentation de matières végétales ou animales, jadis enfouies dans le sol. La troisième hypothèse admet que le pétrole est dû à l'action de l'eau sur la fonte en fusion dans l'intérieur de la terre ; dans ce

cas, le pétrole devrait continuer à se reproduire pendant un temps indéfini.

Statistique. — La production totale du pétrole a été de 6 465 000 tonnes en 1889, fourni presque exclusivement par les États-Unis (3 500 000 tonnes) et par la Russie (2 732 000 tonnes).

États-Unis. — Les premiers forages pour la recherche du pétrole datent aux États-Unis de l'année 1853, époque où le colonel Drake fit la découverte du précieux liquide. Les résultats, fort médiocres, ne devinrent satisfaisants qu'en 1859, année où furent creusés des puits ayant jusqu'à 200 mètres de profondeur et qui donnèrent des résultats inespérés. On est même allé beaucoup plus loin, jusqu'à 600 et 900 mètres. Certains de ces puits jaillissants ont fourni au début jusqu'à 600 000 litres de pétrole brut par jour, mais ce débit extraordinaire a bientôt diminué ; il arrive cependant parfois que le débit se maintienne considérable pendant longtemps, par exemple le Tarr-Farm, qui donna 45 000 litres par jour durant deux années.

Les principaux gisements, parallèles aux monts Alleghanys, sont situés dans la Pensylvanie Occidentale, où se trouvent les grands centres pétrolifères d'Oil-Creek et de Titusville, dans la Virginie Occidentale et dans le Canada Occidental. On trouve aussi du pétrole dans l'Ohio, le Kentucky et la Californie. Les gisements nouvellement découverts à Mac-Donald, près de Pittsburg, ont fourni jusqu'à 47 000 barils par jour, résultat auquel on n'avait jamais atteint jusqu'alors.

On compte 20 000 puits de pétrole aux États-Unis. Des travaux immenses ont été entrepris pour amener le pétrole jusqu'aux raffineries ou jusqu'à la baie de New-York : on a établi d'immenses réseaux de tubes souterrains sur une longueur de 500 kilomètres.

La production du pétrole suit une marche rapidement croissante : en 1861, on extrait 27 000 barils, d'une valeur de 5 millions de francs ; en 1877, 14 500 000 barils, d'une valeur de 300 millions de francs. De 1861 à 1877, les États-Unis exportèrent pour 2 milliards 200 millions de francs de pétrole. Ces chiffres

sont aujourd'hui considérablement dépassés, puisque l'année 1889 a donné 26 millions de barils ou 3 570 000 tonnes de pétrole. Le pétrole est expédié dans des bidons en fer-blanc, de 22 litres 1/2 de capacité. L'Inde reçoit chaque année 8 millions de ces bidons, utilisés dans toute l'Asie pour les usages les plus variés et qui remplacent les poteries.

Russie. — Il existe une vaste nappe pétrolifère s'étendant sous toute la chaîne du Caucase, sous la Caspienne et allant jusqu'au Turkestan. L'extraction se fait actuellement à Bakou, dans la presqu'île d'Apschéron, sur le rivage oriental de la Caspienne. On y trouve 772 puits, répartis sur un très petit espace, le long d'une chaîne de mamelons. Les distilleries sont situées à 6 kilomètres de distance, à Sourahanèh, localité où se voit encore l'ancien temple du Feu, jadis si vénéré des parsis de l'Inde et de la Perse. Ce temple fait aujourd'hui partie d'une usine à pétrole ; l'on fait servir au chauffage des alambics les gaz qui brûlaient jadis sur l'autel et qu'on venait adorer de si loin.

L'exploitation du pétrole à Bakou a fait des progrès aussi rapides qu'aux États-Unis, grâce aux efforts de MM. Nobel frères. Afin de diminuer les frais de transport, plus considérables depuis Bakou jusqu'en France que des États-Unis en Europe, on se propose d'établir un tube qui permettrait de transvaser le pétrole depuis les rives de la Caspienne jusqu'à celles de la mer Noire. Le prix du pétrole rectifié, pris à Bakou, est actuellement de *un franc soixante-dix centimes* les 100 kilos (1).

En dehors des États-Unis et de la Russie, il existe quelques gisements de pétrole destinés peut-être un jour à acquérir de l'importance.

Europe. — On exploite du pétrole dans les provinces danubiennes de l'Autriche-Hongrie, en Allemagne et en Italie.

Il existe une vaste région pétrolifère autour des Carpathes, sur le territoire de la Galicie, de la Bukovine, de la Transylvanie, de la Valachie et de la Moldavie. Les paysans de ces contrées

(1) Nous écrivons en août 1894.

creusent une multitude de puits peu profonds, mais larges, dans les couches argileuses imprégnées de pétrole. Le forage de ces puits est très dangereux, car il s'en dégage un grisou axphyxiant. On compte jusqu'à 5000 puits aux environs de Boryslaw, en Galicie. Citons aussi les exploitations de Woloczka et de Drohobyc, dans la Galicie et de Brasso dans la Transylvanie.

On a également signalé du pétrole à Moslawina en Croatie, à Avlona en Albanie et dans la Dalmatie.

En Allemagne, on trouve des indices de pétrole dans le Hanovre et le duché de Brunswick ; les seules couches pétrolifères exploitées sont celles de l'Alsace, dans les localités de Pechelbronn, Schwabwiller, Lobsann Hirtzbach, Oberstritten, Bieberbach, où l'on voyait du pétrole surnager sur l'eau des sources et où l'on a creusé depuis peu des puits jaillissants.

L'Italie produit annuellement du pétrole pour une centaine de mille francs ; elle le retire principalement dans les Abruzzes, près de Tocco et de Pescara, et dans l'Émilie, à Parme, à Modène et près de Plaisance.

En France, la source de Gabiau, dans l'Hérault, produit à peine un litre de pétrole par jour. La Limagne d'Auvergne semble receler à de grandes profondeurs d'importantes nappes de pétrole; ce combustible sort du sol en certains points, au puy de la Poix, par exemple. Un ingénieur, M. de Clercy, a effectué des sondages, notamment à Pont-Battu, près de Riom, à Pont-du-Château dans l'Allier, mais sans grands résultats jusqu'ici. On ne sait ce que l'avenir et un sondage heureux réservent à ces contrées.

Asie. — La zone pétrolifère de Bakou se prolonge jusqu'à Merv, dans l'Asie Russe ; ces pays deviendront probablement de grands centres d'exploitation. Il en est de même de la vallée de l'Euphrate et de Chiraz dans le Kurdistan, où les émanations de pétrole se manifestent fréquemment. On a également signalé du pétrole dans le Béloutchistan Indien, et dans la Birmanie, à Rangoon, sur la rivière Irouaddy. Le pétrole est exploité depuis plus de dix siècles au Japon, dans les provinces d'Echigo,

de Shinano, d'Uyo, d'Akitaken et de Totomi. Signalons enfin les gisements de l'île Formose, en Chine.

Afrique. — Il existe des sources pétrolifères à Gemsah et à Gebel-el-Zeit, à l'entrée du golfe de Suez,

Amérique. — Les gisements du Canada, prolongement de ceux des États-Unis, ont un grand avenir. Ce pays en exploite déjà cent mille tonnes par an.

On signale du pétrole dans la province de Véra-Cruz, au Mexique; dans l'île de la Trinité et à Cuba, dans les Antilles.

L'Amérique du Sud semble renfermer de grands réservoirs de pétrole, au Pérou, dans le district de Marcora, où des puits récemment creusés produisent jusqu'à 100 tonnes de liquide par jour; dans la République Argentine; au sud de la Bolivie, où des sources de pétrole s'écoulent dans les rivières; dans le Vénézuela où il existe plusieurs puits naturels pleins de pétrole. Toutes ces richesses demandent à être exploitées.

Océanie. — Java, Sumatra, les îles Célèbes, Bornéo, recèlent beaucoup de sources de pétrole. On a commencé des exploitations à Sumatra, dans la province de Langkat, le long du détroit de Malacca. On en signale aussi dans la Tasmanie, au nord-est de Jericho, dans la Nouvelle-Zélande, où il existe des volcans de boue pétrolifère. La Nouvelle-Galles du Sud, en Australie, produit annuellement 15 000 tonnes de pétrole.

Rectification du pétrole. — Le pétrole brut ne saurait être employé pour l'éclairage, il faut lui faire subir une rectification par une distillation fractionnée. Cette distillation, jadis pratiquée dans les grands ports d'Europe sur les pétroles bruts exportés d'Amérique, s'effectue aujourd'hui sur les lieux mêmes de production.

Le premier liquide condensable, passant à la distillation entre 45° et 70°, très inflammable, est l'*éther de pétrole*. Le pétrole ne donne guère que deux ou trois centièmes de son poids d'éther. Cet éther est employé à la place des huiles siccatives ou de l'essence de térébenthine pour la préparation des couleurs. Mill a essayé de l'utiliser pour fabriquer une sorte de gaz d'éclairage par son mélange avec de l'air.

Le liquide qui distille ensuite, entre 70° et 120°, est l'*essence de pétrole*, employée pour l'éclairage et le chauffage. Elle remplace souvent la benzine pour le dégraissage des étoffes, à cause de sa propriété de dissoudre les corps gras. Certains pétroles fournissent jusqu'à 30 p. 100 d'essence.

Vient ensuite l'*huile de pétrole*, distillant entre 120° et 280°. Le pétrole des États-Unis donne la moitié de son poids en huile. L'huile de pétrole sert à l'éclairage des lampes. Il faut lui faire subir une nouvelle purification, par lavages successifs avec de l'acide sulfurique, avec de la soude caustique et enfin avec de l'eau.

Entre 280° et 400°, on obtient dans la distillation un liquide nommé *huile lourde*, plus dense que l'eau, fournissant des substances utiles que nous aurons à étudier à propos de la paraffine.

Le liquide restant comme résidu dans la cornue de distillation porte le nom de *goudron* ; nous allons voir comment on est parvenu à l'utiliser.

Vaseline. — Le *goudron*, dernier résidu de la distillation du pétrole brut, est un liquide épais, brun verdâtre. Quand on le soumet à une nouvelle distillation, il se décompose et donne naissance à une huile servant à l'éclairage comme l'huile ordinaire de pétrole. On l'utilise également pour la fabrication du gaz d'éclairage ou des briquettes destinées au chauffage. On obtient ces briquettes par moulage d'un mélange de goudron de pétrole avec de la houille ou de la sciure de bois.

Aux États-Unis, on est parvenu à retirer du goudron de pétrole une nouvelle substance dont les usages se sont rapidement multipliés : c'est la *vaseline*. On chauffe le goudron à 150°, pendant soixante heures environ, dans un bain de sable, de manière à volatiliser les produits infects, puis on filtre la vaseline sur du noir animal ; elle sort de là décolorée. On obtient ainsi un produit blanc, onctueux, ayant l'avantage de ne pas rancir comme les graisses.

La vaseline américaine coûtait au début 15 francs le kilo ; grâce aux perfectionnements apportés par M. Cognet, en France,

on obtient maintenant un produit beaucoup plus pur et ne revenant plus qu'à 3 francs le kilo.

Les usages de la vaseline se sont rapidement multipliés : on en fait des pommades ; c'est un antiseptique excellent contre les maladies des yeux. Sous le nom de *neutraline*, la pharmacie emploie une vaseline liquide, purifiée avec de l'éther.

Les parfumeurs utilisent la vaseline pour dissoudre les odeurs fugaces de la vanille, du musc, de la civette, de l'iris, du benjoin, de la fève de Tonka ; elle remplace les huiles et les graisses qui ont l'inconvénient de rancir.

On se sert encore de la vaseline pour graisser les armes, les machines délicates, les cuirs qu'elle rend imperméables, pour empêcher la formation de la mousse pendant l'opération de la carbonatation dans les sucreries. En Angleterre, on prépare même des gâteaux et des bonbons avec la vaseline.

VII. — ASPHALTE ET BITUME.

On donne le nom d'*asphalte*, de *bitume*, de *malthe*, à des substances noirâtres, plus ou moins dures, fusibles et brûlant en répandant une forte odeur de goudron.

Bitume de Judée. — Il s'élève du fond de certains lacs, de la mer Morte ou lac Asphaltique de la Judée, du lac de Poix de l'île de la Trinité, du lac Chapopote du Mexique, un liquide visqueux, venant flotter à la surface des eaux, durcissant au contact de l'air et qu'on recueille sur les rives. Les anciens peuples de Babylone et de Ninive ont fait un grand usage de ce bitume pour édifier leurs constructions gigantesques ; ils s'en servaient comme de mortier pour relier les briques.

Le bitume de Judée est employé pour fabriquer la laque de Chine, la cire à cacheter noire, des couleurs pour la peinture. Les Égyptiens l'utilisaient pour embaumer leurs morts ; en Orient, on s'en sert pour calfater les navires et imperméabiliser les tissus. En dissolvant du bitume de Judée et de la colophane dans de l'huile de goudron, on obtient un excellent vernis protégeant le fer de la rouille.

Rappelons aussi que Niepce dut sa merveilleuse découverte, la photographie, à l'emploi du bitume de Judée.

Schistes bitumineux et asphaltes. — On trouve des schistes, des argiles, des sables, des calcaires imprégnés d'une substance analogue au bitume de Judée. Le fond des lacs bitumineux est probablement constitué par des couches chargées de bitume, que le voisinage d'une source de chaleur fait fondre : le bitume devenu liquide monte à la surface des eaux.

On donne plus particulièrement le nom d'*asphalte* au calcaire bitumineux ; ce calcaire possède la propriété de tomber en poussière quand on le chauffe à 100°. Vers 1849, dans une usine de calcaire asphaltique, située au Val-Travers, en Suisse, l'ingénieur Mérian remarqua que les morceaux tombés des chariots se pulvérisaient sous les roues et formaient une chaussée excellente ; il proposa d'utiliser le calcaire asphaltique à la confection du sol des rues. La première application eut lieu à Paris, en 1854, dans la rue Bergère. Le calcaire asphaltique ayant été réduit en poudre, on le chauffe de nouveau, on l'étale sur la chaussée et on le comprime avec un rouleau. Aujourd'hui on préfère chauffer la poudre d'asphalte avec du bitume fondu ou du brai sec de goudron. Au bout de quelques heures de cuisson, on obtient un produit que l'on coule dans des moules et qui ne se pulvérise plus comme l'asphalte sous l'action de la chaleur, mais fond en pâte. Ce *mastic* d'asphalte est refondu dans une chaudière avec du gravier et étalé sur les chaussées ou de préférence sur les trottoirs. Le gravier est nécessaire afin d'empêcher le mastic de se fendiller.

Le mastic d'asphalte est encore utilisé dans la construction des massifs supportant les machines et amortissant les vibrations du sol, pour préserver les planchers contre l'incendie, pour cimenter les pierres et autres matériaux, pour construire des soubassements qui s'opposent à la propagation de l'humidité du sol, pour fabriquer, avec du carton, des couvertures économiques. On en recouvre les tuyaux de fonte placés souterrainement, afin de les préserver de l'oxydation.

Pour séparer le bitume des schistes, des argiles, des sables,

des calcaires qui le renferment, on opère de deux façons. Si la matière est perméable, on la fait bouillir avec de l'eau : le bitume fond, se sépare de sa gangue et vient flotter à la surface de l'eau ; si la matière est dure et imperméable, on la mélange avec de la houille et on y met le feu. La masse se consume lentement, le bitume fond et s'écoule. Ce bitume sert aux mêmes usages que le bitume de Judée.

Par la distillation des matières bitumineuses, on obtient une sorte de pétrole servant à l'éclairage des lampes. Cette huile, appelée jadis *schiste*, a déterminé la recherche du pétrole naturel aux États-Unis ; ce fut la première substance utilisée comme huile minérale pour l'éclairage domestique. Les pétroles naturels ont fait une désastreuse concurrence à la fabrication des huiles de schistes. Le résidu de la distillation est une matière noire, entrant dans la composition du cirage et de l'encre d'imprimerie. En calcinant plus fortement ce *noir minéral*, on obtient du *tripoli* rouge. C'est ainsi, du moins, qu'on traite les schistes de Menat, dans le Puy-de-Dôme.

Sous le nom de *boghead* on désigne plus particulièrement un schiste excessivement bitumineux, tiré d'Écosse et employé pour la fabrication du gaz d'éclairage.

STATISTIQUE.

France. — On exploite 23 mines de minerais bitumeux, dans l'Ain et dans la Haute-Savoie (calcaire asphaltique de Seyssel), l'Allier (schistes bitumineux de Buxières), le Gard (calcaire asphaltique d'Alais), le Puy-de-Dôme (schistes et sables bitumineux d'Épinac), en Saône-et-Loire (*boghead* d'Autun), dans le Var (schistes bitumineux de Fréjus). On a signalé d'autres gisements exploités dans les Basses-Alpes, le Cantal, le Doubs, les Landes, la Vendée, l'Ardèche.

Mais tout cela ne constitue au fond qu'une petite industrie, de minime importance. Il a été extrait, en 1889, 165 000 tonnes de schistes bitumeux, 14 500 tonnes de calcaire asphaltique et seulement 8800 tonnes de *boghead*, le tout d'une valeur de 1 200 000 francs. La distillation des schistes bitumineux a pro-

duit 6274 tonnes d'huile minérale, d'une valeur de 745 000 francs et 474 tonnes du noir minéral et de tripoli. Le calcaire asphaltique a donné 7800 tonnes de mastic et de poudre pour trottoirs.

Autres pays. — On exploite des calcaires asphaltiques et des schistes bitumineux dans la plupart des pays d'Europe ; bornons-nous à citer les gisements de Pyrimont et du Val-Travers (Suisse), des provinces de Burgos, de Santander, d'Alava (Espagne), de Lobsau, de Bechelbronn, de Lampersloch (Alsace).

Le *boghead* est principalement extrait en Angleterre (Édimbourg, îles Hébrides) et en Australie (Nouvelle-Galles du Sud).

VIII. — OZOKÉRITE OU CIRE FOSSILE.

C'est une matière translucide, de couleur jaune brun, à reflet verdâtre. Elle sert à la fabrication des bougies et des fleurs artificielles, aux préparations pharmaceutiques, dans la parfumerie, l'apprêt des tissus, pour le graissage des machines délicates. Pour ces divers usages, on la décolore en la fondant avec de l'acide sulfurique et le résidu charbonneux de la préparation du prussiate jaune de potasse.

L'ozokérite est une matière isolante de l'électricité, comme la paraffine dont elle a la même composition chimique.

Le principal gisement d'ozokérite se trouve dans le sous-sol de la Galicie, de la Hongrie et de la Roumanie ; il continue à travers la Russie, jusqu'à la mer Caspienne. Les exploitations les plus importantes ont lieu en Galicie, à Boryslaw, à Wolanska, à Mœhrisch-Oestrau et dans plusieurs localités de Roumanie. L'ozokérite s'y rencontre dans des poches irrégulières, au milieu des grès et des schistes, à des profondeurs variant de 80 à 100 mètres. On en extrait par an environ 15 000 tonnes, d'une valeur de 5 millions de francs. On la lave dans de l'eau froide, puis dans de l'eau chaude et on la traite par la benzine dans un courant de vapeur d'eau. Ainsi purifiée et fondue, on la coule dans des moules. Par distillation, on en retire de la paraffine et des huiles minérales.

Il existe aussi des gisements d'ozokérite à Newcastle, en Angleterre ; au Texas et dans l'Utah, aux États-Unis. Ce dernier gisement est d'une immense étendue, 100 kilomètres de longueur, sur 36 de largeur.

IX. — PARAFFINE.

La paraffine fut découverte en 1830, par Laurent de Reichenbach dans le goudron du bois. Selligues la retrouva un peu plus tard dans les huiles lourdes, obtenues par la distillation des schistes bitumineux d'Autun ; dès 1846, il en fit une fabrication industrielle. Les Allemands et les Anglais en tirèrent à leur tour de grandes quantités par la distillation des schistes et surtout des lignites. Enfin, plus récemment, on a extrait la paraffine des pétroles et de l'ozokérite.

Toutes ces substances donnent, par la distillation, des huiles légères, employées comme huiles minérales, puis des huiles lourdes dont on sépare la paraffine par un long refroidissement. Les résidus de ces huiles lourdes, après abandon de la paraffine, sont utilisés comme lubrifiants.

Cette paraffine doit être purifiée : on la comprime avec la presse hydraulique pour en séparer les huiles étrangères, on la fond avec de la benzine, puis on la moule et on la comprime de nouveau. La benzine s'écoule, après avoir dissous de nouvelles impuretés. On fond encore avec du carbonate de soude, on comprime et on moule.

On obtient ainsi une substance nacrée, blanche et transparente, n'ayant aucune odeur, fusible vers 50 degrés.

La paraffine est surtout employée pour la fabrication des bougies de luxe, principalement en Angleterre. On lui ajoute un peu d'acide stéarique, ce qui l'empêche de cristalliser et de donner des bougies trop fragiles, augmente sa transparence et son point de fusion. On la mélange à la cire blanche qui devient plus transparente. Les parfumeurs en font usage pour enfleurer les résédas, les violettes, les tubéreuses, les roses, les jasmins, les fleurs d'oranger. On s'en sert encore pour fabriquer les

allumettes dites paraffinées ; pour imperméabiliser les étoffes délicates et les tulles, en les imbibant de paraffine, puis passant dessus un fer chaud ; pour enrober les œufs et les conserver ; pour certaines préparations pharmaceutiques ; pour supports des appareils électriques, car la paraffine est l'un des meilleurs isolateurs connus.

Statistique. — La France produit un peu de paraffine par la distillation des schistes d'Autun. M. Cognet, fabricant à Nanterre, près de Paris, a beaucoup contribué à perfectionner sa fabrication et à l'obtenir dans un grand état de pureté.

L'Angleterre en fabrique beaucoup par la distillation de ses tourbes, de son *boghead* et de son *cannel-coal*, qui en donnent plus que les schistes français.

Il en est de même de l'Allemagne et de l'Autriche, dont les lignites de Halle, de Bonn, de Pesth, en fournissent de très grandes quantités.

X. — GAZ D'ÉCLAIRAGE.

Gaz d'éclairage naturel. — Les matières bitumineuses produisent, quand on les chauffe, des produits de décomposition, gazeux, liquides ou solides ; nous n'avons parlé, dans les chapitres précédents, que des produits liquides ou huiles minérales et des produits solides, paraffine, vaseline, etc.

Il nous reste à étudier, dans ce chapitre, les produits gazeux connus sous le nom de *gaz d'éclairage*.

La chaleur centrale du globe détermine la distillation des matières bitumineuses enfouies dans le sol. Cette distillation donne naissance à des gaz, à des huiles minérales (diverses variétés de pétrole) et à des corps solides (ozokérite).

Les gaz naturels d'éclairage sont connus et utilisés depuis une très haute antiquité, au Japon par exemple. Au temple du Feu, à Sourahanèh, sur les bords de la mer Caspienne, la flamme éternelle provenait de la combustion des gaz naturels amenés sur l'autel.

En gens pratiques, les habitants des États-Unis utilisent

depuis quelques années les gaz naturels qui se dégagent en si grande abondance dans les États de Pensylvanie, de New-York, d'Indiana, du Kansas, du Colorado, de l'Arkansas, du Tennessee, du Kentucky, de l'Illinois, du Missouri et de l'Ohio. Un puits, creusé dans l'Ohio, fournit par jour jusqu'à 8 millions de mètres cubes de gaz d'éclairage naturel, brûlés principalement dans les usines métallurgiques.

Cette industrie a pris un essor considérable aux États-Unis depuis 1821, époque où l'on commença à utiliser le gaz naturel pour l'éclairage de Fredonia, dans l'État de New-York. En 1838, on se servit de ce gaz pour le chauffage domestique et industriel de la ville de Findlay, dans l'Ohio. Actuellement, aux États-Unis, un capital de plus de 500 millions de francs est engagé pour la canalisation du gaz naturel. La ville de Chicago est aujourd'hui éclairée et chauffée au moyen d'une source de gaz dont le captage a été effectué à Kokoma, situé à une distance de 200 kilomètres de cette ville. Le gaz est recueilli dans des réservoirs, puis refoulé par des pompes dans des tubes qui l'amènent jusqu'à Chicago. La première canalisation fut établie à Pittsburg, en 1883. Le prix du mètre cube de gaz n'est que de 10 centimes.

La France possède aussi du gaz naturel, mais en très petite quantité, et demeuré inutilisé jusqu'ici : à Gabiau, dans l'Hérault, et à Saint-Barthélemy-sur-Gua, près de Grenoble.

Gaz d'éclairage artificiel. — On savait depuis longtemps que le bois et la houille produisent des gaz combustibles quand on les chauffe en vase clos, mais on n'avait pas encore songé à utiliser ces gaz pour l'éclairage domestique, quand Philippe Lebon construisit son fameux *thermolampe*, vers 1785. Il fit connaître sa découverte à l'Académie des sciences, en 1799, et expérimenta cet appareil devant le public dans la même année. Ce thermolampe était un poêle qui, tout en chauffant les appartements, distillait du bois, dont les gaz servaient en même temps pour l'éclairage. Ce gaz était infect, éclairait mal et l'invention n'eut aucun succès. Lebon aurait probablement perfectionné son appareil, mais il fut assassiné dans les Champs-Élysées, à

Paris, peu d'années après, en 1804. Lebon, chimiste et ingénieur des ponts et chaussées, doit donc être considéré comme l'un des premiers inventeurs du gaz d'éclairage.

L'idée de la fabrication du gaz d'éclairage flottait d'ailleurs un peu partout dans l'air, car William Murdoch, ingénieur anglais, exécutait, à la même époque que Lebon, des expériences analogues à Redruth, en Cornouailles, mais en se servant de la houille. Un philosophe écossais, le docteur Chalmers, était si persuadé que l'on allait bientôt faire circuler le gaz d'éclairage dans les rues que, se faisant bâtir une maison neuve, il fit placer une canalisation dans les appartements pour y amener le gaz qu'il prévoyait.

Murdoch, dès 1804, avait déjà construit dans plusieurs usines des appareils pour la préparation du gaz d'éclairage. Winsor, l'un des collaborateurs de Murdoch, fonda le premier une Société pour l'éclairage au gaz des villes. Il perfectionna les appareils de Murdoch et, dès 1810, il put éclairer la ville de Londres. En 1817, il vint à Paris et éclaira le passage des Panoramas. Dédaigné pour ainsi dire, au début, par les Parisiens, conme d'ailleurs la plupart des grandes innovations, le gaz se répandit bientôt dans toutes les capitales de l'Europe, puis dans les villes principales. La capitale de la France ne fut éclairée au gaz que bien après d'autres villes beaucoup moins importantes. Pareil fait se reproduisit pour l'éclairage électrique.

Préparation. — La houille est distillée dans des cornues en terre réfractaire, employées pour la première fois en Angleterre, par Spinney, de Cheltenham (Glocester); on se servait à l'origine de cornues en fonte. Les cornues en terre réfractaire se fabriquent surtout à Lyon, à Ivry, à la Compagnie Parisienne, en Belgique, en Angleterre, en Allemagne, etc.

On doit introduire la houille dans la cornue préalablement chauffée au rouge blanc, car le rendement en gaz est plus grand qu'en chauffant la houille progressivement. La houille la plus recherchée est la houille grasse, pauvre en soufre et en azote, qu'on peut considérer comme du charbon bitumineux. Les usines françaises emploient surtout les houilles de Denain,

d'Anzin, de Lens, de Courrières, de Dourges, de Nœux, dans les départements de la région du Nord; de Commentry et du bassin de la Loire, dans les départements du Centre ; de l'Aveyron, de Carmaux, de Bessèges, de Graissessac, de la Grand'-Combe, dans les départements du Midi. Sur les côtes, on fait usage des houilles anglaises et belges. On estime que 100 kilos de houille donnent en moyenne 23 mètres cubes de gaz d'éclairage.

Les gaz doivent être débarrassés des matières nuisibles qu'ils contiennent. L'épuration, dite *physique*, consiste à les faire passer successivement dans le *barillet*, le *condenseur* et la *colonne à coke*. Le barillet est un cylindre à moitié plein d'eau, où il se dissout de l'ammoniaque et où se dépose la majeure partie du goudron. Le condenseur consiste en une série de tubes parallèles, entourés d'eau froide, où le gaz se refroidit et abandonne encore du goudron. La colonne à coke est un cylindre rempli de coke imbibé d'eau légèrement ammoniacale, où le goudron finit de se déposer et où l'acide carbonique se combine avec l'ammoniaque. En 1839, on eut l'idée d'intercaler une pompe aspirante et foulante, dite *extracteur*, entre le condenseur et la colonne à coke. Cette pompe aspire le gaz dans la cornue et le refoule dans les autres appareils qui servent à l'épuration dite *chimique*.

Dans l'épuration chimique, qui succède à l'épuration physique, les gaz passent successivement dans des cuves contenant de la chaux et dans des cuves contenant de la sciure de bois, imprégnée de sulfate de chaux et de sesquioxyde de fer, dit mélange Laming. Le gaz se dépouille, en passant sur ces différentes substances, de l'acide carbonique, de composés cyanogénés, de traces d'ammoniaque et surtout de l'acide sulfhydrique dont la présence dans le gaz serait très nuisible.

Ainsi épuré, le gaz arrive dans le gazomètre, d'où il est refoulé dans des tuyaux qui le distribuent dans les différentes parties de la ville. Le gazomètre le plus employé actuellement est le gazomètre à *télescope*, inventé en Angleterre, ayant l'avantage d'occuper peu de place sous un grand volume. Il est

composé de trois cloches s'emboîtant les unes dans les autres, comme les tubes d'une lunette terrestre.

Résidus de la fabrication du gaz d'éclairage. — Ils sont tellement nombreux et ont reçu un si grand nombre d'applications importantes, que le gaz d'éclairage peut être considéré comme un produit sans valeur, les dépenses pour sa fabrication étant compensées par la vente des résidus.

Coke. — C'est un charbon assez pur, dur, compact, caverneux, gris d'acier, qui brûle difficilement, mais sans fumée et en dégageant beaucoup de chaleur. On le trouve dans les cornues après la distillation de la houille. Il est employé pour le chauffage domestique et pour la fabrication de la fonte dans les hauts-fourneaux. Le coke des usines à gaz ne suffisant pas à la consommation, on le prépare dans des fours spéciaux ou par le procédé des meules, comme pour le charbon de bois ordinaire. Le procédé des fours donne le meilleur rendement. Il consiste à distiller la houille en vase clos, comme dans la fabrication du gaz d'éclairage. On recueille le goudron et l'ammoniaque, mais le gaz non purifié sert à la calcination de la houille, qui se distille de la sorte elle-même. Les fours à coke sont toujours situés dans le voisinage immédiat des houillères, afin d'éviter les frais de transport de la houille.

Charbon des cornues. — C'est un charbon assez semblable au coke, plus lourd et plus compact, très difficilement combustible, qui se dépose sur les parois des cornues à gaz et les encroûte. Ce charbon résulte du dépôt de particules charbonneuses, provenant de la décomposition des gaz sous l'action de la haute température des parois.

Le charbon des cornues sert à fabriquer des creusets et des tubes infusibles ; il est employé en électricité, dans la construction des piles et des bâtons pour la lumière à arc ; c'est un bon conducteur de l'électricité.

Goudron. — Nous avons déjà décrit les produits extraits par distillation du goudron de houille, à propos des matières colorantes artificielles.

Ammoniaque. — Les eaux ammoniacales des usines à gaz

servent à la fabrication du sulfate d'ammoniaque, engrais très recherché.

Chaux et mélange de Laming. — La chaux et le mélange de Laming, surchargés des matières d'épuration chimique, sont utilisés pour la fabrication du soufre, des cyanures, etc. L'acide sulfhydrique du gaz d'éclairage est en effet décomposé par le mélange de Laming ; il se forme du soufre qui reste disséminé dans la masse.

Gaz d'éclairage obtenu par d'autres substances que la houille. — *Cannel-coal.* — Le *cannel-coal* fournit un gaz très riche, contenant peu de principes azotés et de soufre. On le mélange avec la houille quand on veut obtenir un gaz plus éclairant.

Boghead. — Au début de la fabrication du gaz d'éclairage, on eut l'idée de supprimer la canalisation et de transporter le gaz comprimé à domicile dans des réservoirs. Le gaz était obtenu à l'usine par la distillation du *boghead*, qui fournit un gaz trois fois plus éclairant que la houille. Ce système, employé d'abord en Angleterre vers 1820, fut bientôt abandonné à cause des explosions produites par le manque de solidité des réservoirs. La fabrication en fut reprise en France vers 1850, quand on put obtenir des réservoirs capables de résister aux hautes pressions. Ce système permet de transporter du gaz d'éclairage à de longues distances, alors que l'établissement des tuyaux de conduites devient trop dispendieux.

Bois. — Le gaz de bois, doué d'un pouvoir éclairant plus vif que celui de la houille, est surtout fabriqué en Suisse et en Allemagne. On obtient, comme produits accessoires, du vinaigre de bois, de l'alcool méthylique, de la créosote, du goudron et un charbon de bois excellent.

Tourbe. — Elle est employée dans quelques localités de l'Allemagne pour la fabrication du gaz d'éclairage.

Schistes bitumineux. — Le gaz en est très éclairant.

Huile. — Le gaz d'huile sert, en Allemagne, à l'éclairage des voitures des chemins de fer.

Suint. — Quelques filatures de laine utilisent le suint de laine pour fabriquer un gaz très éclairant.

Eau. — La vapeur d'eau, en passant sur du charbon chauffé au rouge, donne un mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone, gaz très combustibles, mais doués d'un pouvoir éclairant presque nul. On les rend éclairants en les mélangeant avec des vapeurs de benzine, de pétrole, d'essence de térébenthine, de naphtaline. On peut aussi placer des fils de platine dans la flamme, ces fils rendent incandescents les gaz ainsi préparés.

Le gaz d'eau ne peut circuler dans les tuyaux souterrains, car les fuites sont difficiles à éviter avec l'hydrogène.

Statistique. — En 1883, on comptait en France 770 usines à gaz, ayant produit 567 millions de mètres cubes, d'une valeur de 148 millions de francs. Le nombre des ouvriers était de 14 752. Les départements possédant le plus grand nombre d'usines se rangeaient dans l'ordre suivant : Nord 98, Seine-et-Oise 32, Pas-de-Calais 26, Seine-Inférieure 25, Aisne 21, Somme 20, Eure 19, Oise et Seine 18.

Cet ordre se modifiait en comparant les volumes de gaz produits. La Seine prend la tête, avec 68 millions de mètres cubes. Viennent ensuite : le Nord 10 millions, les Bouches-du-Rhône et la Seine-Inférieure 5 millions, le Rhône, la Loire et la Gironde 3 millions, etc.

Le développement de la lumière électrique à Paris, depuis cette époque, a fait considérablement progresser la consommation du gaz dans cette ville. En 1890, Paris a brûlé 308 millions de mètres cubes de gaz, soit quatre fois et demi plus qu'en 1883. La progression n'a pas été aussi sensible dans les départements. L'œil, habitué au grand éclat de la lumière électrique, exige aujourd'hui que le gaz lui fournisse une lumière d'une intensité beaucoup plus considérable qu'autrefois.



CHAPITRE II

MÉTAUX PRÉCIEUX

Les métaux ont joué un rôle considérable dans l'histoire de la civilisation ; l'homme n'a pu atteindre un grand degré de puissance qu'à partir du jour où il a possédé des armes et des outils métalliques, c'est-à-dire formés de substances dures, non cassantes, malléables et ductibles. Telles sont les propriétés qui caractérisent la plupart des métaux, à l'exclusion des autres substances minérales. Le bois et le silex ne suffisaient pas pour donner à l'homme les armes nécessaires lui permettant de lutter contre les animaux, ni les outils indispensables pour le développement de l'industrie. L'âge de bronze a donc été l'aurore de la véritable civilisation et l'âge de fer son complet épanouissement, le fer ayant beaucoup plus de dureté que le bronze.

Les premiers métaux connus furent nécessairement ceux à l'état natif, c'est-à-dire qu'on trouve à l'état de pureté dans le sol : ce sont l'*or*, l'*argent*, le *cuivre* et le *mercure*.

L'or, en paillettes, fut le premier métal usuel, mais sa faible dureté et sa fusion si pénible ont rendu ses applications très difficiles et peut-être même impossibles. Il en est de même de l'argent et à plus forte raison du mercure. La singularité des propriétés du mercure a frappé les premiers hommes et ce métal a été longtemps considéré comme possédant des vertus mystérieuses.

L'art d'extraire les métaux des minerais représente peut-être

la phase la plus remarquable de l'histoire de l'humanité. On ignore absolument à la suite de quel hasard heureux l'homme est parvenu à extraire le *cuivre*, le *plomb*, l'*étain*, le *fer*, des minerais qui les contiennent à l'état de combinaison. Ces minerais ont évidemment un aspect particulier qui attire forcément l'attention, mais il a déjà fallu une science plus développée pour savoir en extraire les métaux. Leur traitement, qui nous semble assez simple aujourd'hui, a dû présenter bien des difficultés au début.

Les autres métaux usuels n'ont été découverts que très longtemps après, vu leur rareté et parce que leur métallurgie exige des connaissances chimiques assez développées : ce sont l'*antimoine* et le *bismuth*, découverts à la fin du XVe siècle ; le *zinc* et le *cobalt*, au XVIe siècle ; le *platine*, venu d'Amérique en 1740 ; le *nickel*, déjà connu des Chinois depuis longtemps, mais découvert en Suède par Cronstedt en 1751 ; le *manganèse*, signalé par Scheele et Ganh en Suède en 1774 ; le *chrome*, découvert en France par Vauquelin en 1797 ; le *potassium* et le *sodium*, isolés par Davy en Angleterre en 1803, grâce à l'invention de la pile ; l'*aluminium*, découvert en Allemagne par Woehler en 1827 ; le *magnésium*, isolé en 1829 par Bussy, à Marseille.

On connaît encore un grand nombre d'autres métaux, très rares et dont les applications sont jusqu'ici sans importance ; aussi n'en parlerons-nous pas.

I. — OR.

L'or est jaune, mais sa couleur se modifie beaucoup quand il contient de très faibles quantités de métaux étrangers ; une adjonction de cuivre lui donne une teinte rougeâtre. Il est mou comme le plomb et peu tenace, aussi faut-il l'allier avec le cuivre pour lui donner de la dureté quand on veut en fabriquer des monnaies, des bijoux et diverses pièces d'orfèvrerie. L'or est précieux à cause de sa rareté, et surtout de son inaltérabilité. Il conserve son éclat dans l'air, même humide, et se retrouve intact dans le sol, quelle que soit la durée de son enfouissement.

Il est attaqué seulement par le mercure, qui le dissout très rapidement, et par le chlore ou l'eau régale, mélange d'acide azotique et d'acide chlorhydrique. Le chlore forme avec l'or du chlorure d'or, substance employée en photographie. Le *pourpre de Cassius*, utilisé dans la peinture sur verre et sur porcelaine, s'obtient en mélangeant une dissolution d'or dans l'eau régale avec une dissolution d'étain dans le même liquide.

L'or, comme le fer, possède la propriété de se ramollir quand on le chauffe et de pouvoir alors se souder à lui-même. Il fond à une température relativement élevée, à 1250 degrés.

L'or peut être étiré en fils très ténus et transformé en feuilles n'ayant qu'une minime fraction de millimètre d'épaisseur. En feuille mince, il se laisse traverser par la lumière avec une teinte d'un vert bleuâtre. Pour le réduire en feuilles, on le bat avec un large marteau, sur une table, entre deux feuilles de papier parchemin ou entre deux peaux de chamois. Sous cet état, il sert à faire un plaqué d'or mince sur des objets en cuivre, ou, sous une minceur extrême, à dorer à l'huile ou à la colle sur bois, sur papier, sur carton, sur cuir, sur fer, etc. On l'utilise encore pour dorer le cadre des glaces et des tableaux, les grilles, même les dômes, comme celui de l'hôtel des Invalides à Paris. La dorure galvanique consomme également beaucoup d'or. Les peintres dorent avec des feuilles d'or broyées avec du miel. Cet or est dit *en coquilles*, parce qu'on le trouve dans le commerce tapissant l'intérieur de certaines coquilles.

L'or employé par les dentistes, pour aurifier les dents, doit être d'une grande pureté. On le réduit en feuilles minces et on le conserve dans des boîtes en bois. Chose singulière, les boîtes en fer-blanc l'altèrent et le rendent cassant.

Métallurgie de l'or. — L'or pur est très rare dans la nature : on le trouve presque toujours allié à d'autres métaux. Parfois à l'état de pépites plus ou moins volumineuses, il est le plus généralement disséminé sous la forme de paillettes ou de poudre impalpable au milieu de matières étrangères. Il en existe presque partout, jusque dans les pavés de Paris. La difficulté est de découvrir un gisement où l'or soit assez abondant et capable

de donner une exploitation rémunératrice. Si l'on voulait extraire l'or des pavés de Paris, on dépenserait une somme d'or monnayé bien supérieure à la valeur de l'or retiré des pavés ; on ne peut donc songer à une exploitation faite dans des conditions aussi désavantageuses.

L'or se rencontre en paillettes ou pépites dans certains filons de quartz, au milieu des roches cristallines. Ces filons, désagrégés par l'air, l'eau, les variations de température, ont donné naissance à un sable aurifère qu'on exploite dans le lit des ruisseaux ou des rivières. Les paillettes de ces sables d'alluvion sont le plus souvent très petites, à peine visibles à l'œil ; on trouve cependant parfois des pépites de la grosseur d'une noix ou d'une noisette. On cite une pépite d'Australie qui pesait 67 kilogrammes, mais c'est là un fait exceptionnel. Après avoir épuisé les sables aurifères, on exploite à leur tour les filons quartzeux, quand on parvient à les découvrir, chose souvent difficile.

Il existe encore de l'or, disséminé en poudre impalpable, dans certains minerais d'argent, de cuivre, dans certaines pyrites de fer. On l'en retire quand il y a avantage à le faire.

Lorsqu'on veut exploiter un sable aurifère, on opère par la méthode du lavage. En lavant le sable avec de l'eau dans une sébile en bois, l'or tombe au fond de la sébile à cause de sa grande densité. Ce procédé, très grossier, laisse perdre une notable partie de l'or. Il est préférable de laver le sable sur une toile inclinée, dite *berceau*, à laquelle on imprime un mouvement d'oscillation. Le sable roule le long de la toile, tandis que l'or y reste adhérent.

Quand il s'agit d'un filon de quartz aurifère, il faut d'abord pulvériser le quartz, puis laver le sable ainsi obtenu.

Le lavage ne donne pas de l'or pur, mais de l'or mélangé encore d'un peu de sable et d'autres matières étrangères. Pour l'isoler complètement, on a recours à l'amalgamation. On ajoute du mercure à la masse lavée. On a construit des machines spéciales, permettant de broyer en même temps le quartz, de le laver et de l'amalgamer. L'amalgame d'or est recueilli, puis

distillé; l'or reste au fond de la cornue. Afin d'éviter la distillation d'un grand excès de mercure, on comprime l'amalgame dans un sac en peau de chamois ; le mercure en excès filtre à travers le sac, qui ne contient plus que l'amalgame solide d'or qu'on distille.

Quand l'or est disséminé dans d'autres minerais métalliques, on effectue un grillage désagrégeant l'or et le séparant de sa gangue ; on pulvérise le minerai grillé, puis on le lave pour séparer l'or par un procédé semblable à celui usité pour le traitement des sables aurifères. Au Mexique, où le minerai est très riche, on le grille, puis on le fond : l'or se rassemble à la partie inférieure du creuset de fusion. On traite cette portion par du plomb qui s'allie à l'or. Pour retirer l'or du plomb, on se sert d'un procédé que nous aurons l'occasion de décrire à propos de ce dernier métal.

Quand le minerai est très pauvre en or, on le traite par un courant de chlore qui transforme l'or en chlorure d'or, soluble dans l'eau. On épuise par l'eau et on précipite l'or de la dissolution par un courant d'acide sulfhydrique. Il se forme un précipité de sulfure d'or qu'on chauffe : le soufre se dégage à l'état d'acide sulfureux et il reste de l'or comme résidu.

Purification de l'or. — L'or obtenu par les méthodes précédentes n'est pas pur ; il est allié à du cuivre, du fer, de l'étain, du plomb, de l'arsenic, de l'antimoine, de l'argent. Il est cassant et impropre à la fabrication des monnaies et ne peut se réduire en feuilles. Pour le purifier, on le fond avec de l'azotate de potasse qui oxyde le cuivre, le fer et l'étain. On le fond de nouveau avec du borax et on fait passer un courant de chlore : il se produit des chlorures de plomb, d'arsenic et d'antimoine qui se volatilisent, et du chlorure d'argent qui se dissout dans le borax.

Affinage des monnaies d'argent. — Certaines monnaies d'argent anciennes, les piastres mexicaines par exemple, contiennent assez d'or pour qu'il y ait profit à en retirer ce dernier métal. On fond ces monnaies et on coule le métal dans l'eau froide où il se grenaille. On attaque cette grenaille par de l'acide sulfurique concentré et bouillant : l'argent et le cuivre se dissolvent à

l'état de sulfates et l'or reste sous la forme d'une poudre noire. On fond cette poudre pour avoir l'or en lingot.

En traitant la dissolution de cuivre et d'argent par du cuivre en rognure, on précipite l'argent en poudre, qu'on fond ensuite pour obtenir l'argent en lingot.

Statistique. — Les anciens retiraient l'or de l'Inde, de l'Arabie, du Caucase, de l'Afrique Occidentale, de la Thrace, de la Macédoine, de l'Espagne. L'or en lingot fut employé comme monnaie pour les échanges depuis les temps les plus reculés, mais on ne fabriqua de la véritable monnaie que six siècles environ avant Jésus-Christ.

Avant 1851, la production de l'or était encore peu considérable dans le monde ; à cette époque, on découvrit coup sur coup les riches gisements de la Californie et de l'Australie ; la production de l'or quadrupla. En 1850, la production totale montait à 54 000 kilos ; elle s'élevait à 197 000 kilos en 1855. La fièvre de l'or s'apaisa vite ; depuis 1860, on produit beaucoup moins que pendant la période de 1851 à 1860.

On évalue à 42 milliards de francs la valeur de l'or extrait du sol depuis quatre siècles ; celle de l'argent est de 51 milliards. En 1890, il a été extrait 182 000 kilos d'or.

Tableau des principaux pays producteurs.

		Millions de francs.
États-Unis		172
Australie		127
Russie		117
République Sud-Africaine		69
Possessions anglaises	Afrique et Asie	48
	Chine	27
	Nouvelle-Zélande	19

Viennent ensuite : la Guyane française, l'Allemagne, la Hongrie, le Chili, le Mexique, le Vénézuela, la Guyane Anglaise, le Canada, avec une production variant entre 5 et 7 millions de francs pour chaque pays.

Europe. — Les Pyrénées, les Alpes, le Massif Central contiennent quelques rares filons de quartz aurifère ; on trouve des paillettes d'or dans le sable d'un grand nombre de rivières

descendant de ces régions montagneuses, dans la Garonne, l'Ariège, le Rhin, le Rhône, l'Arve, le Gardon, la Cèze, l'Ardèche, l'Hérault. Dans le Limousin, au milieu des vallées descendant de la chaîne de Blond, il existe des trous creusés de main d'homme, désignés sous le nom d'*aurières*. Les Romains ou les Gaulois ont probablement exploité de l'or dans cette contrée. Il a été découvert plusieurs pépites d'or dans l'Ardèche, à Montjoc, à Avols, dans la commune de Gravières, sur un contrefort de la montagne de Barre, nommé le Serre de Montjoc. On connaît également des quartz aurifères sur le territoire de la commune de la Miouze, dans le Puy-de-Dôme; le ruisseau de la Sioule y roule d'ailleurs des pépites d'or.

Mais, comparé à la production annuelle du monde entier, tout cela est insignifiant, puisque la production annuelle en or de la France se réduit à 200 kilos, d'une valeur de 640 000 francs.

En Europe on trouve encore de l'or dans un grand nombre de localités. En Angleterre, dans le nord du Pays de Galles, où il a été exploité par les Romains ; en Italie, au mont Rose dans les Alpes et dans les Apennins de la Ligurie ; en Espagne, en Andalousie, dans la Sierra de Peñaflor, où il a été également exploité par les Romains, ainsi que dans la province de Léon ; dans les sables du Rhin, depuis Bâle jusqu'à Philippsbourg, qui en fournissent annuellement pour une valeur de 40 000 à 50 000 francs ; dans la Thessalie, la Macédoine, la Serbie, la Bosnie, où plusieurs gisements ont été exploités autrefois par les Grecs, dans l'île de Thasos, l'île Dorée des poètes de la Grèce ; dans plusieurs minerais du Hartz en Allemagne, de la Hongrie et de la Transylvanie. La Russie possède les gisements aurifères de beaucoup les plus importants. L'exploitation de l'or y acquiert chaque année un plus grand développement ; en 1892, la Russie a produit 42 000 kilos d'or, d'une valeur de 125 millions de francs. Elle occupe le second rang, venant aussitôt après les États-Unis et dépassant même l'Australie.

L'or est exploité en Russie dans trois régions principales : sur le revers oriental de l'Oural, dans les gouvernements de Perm

et d'Orenbourg ; dans les gouvernements de Tomsk et de Iénisséisk ; dans la Transbaïkalie.

Asie. — La *Chine* contient à la surface du sol de très nombreux gisements d'or, aujourd'hui épuisés. L'exploitation n'a pu continuer, car il était jadis défendu de creuser des mines dans l'empire chinois. Cette défense a maintenant cessé et les mines d'or sont exploitées par la méthode américaine. Il en est de même pour les mines d'argent.

On trouve aussi de l'or au *Tonkin*, sur la frontière chinoise. Le Tonkin est d'ailleurs un pays où abondent les filons métallifères, argent, plomb, fer, étain. Les habitants apportent sur les marchés des lingots de ces métaux, dont on ignore encore la provenance.

Le *Japon* commence à exploiter de nouveau ses mines d'or, jadis abandonnées pour le même motif qu'en Chine. On en compte vingt-neuf, à Sado, Ikuno, Innaï, Kosaka et Yamagano.

Afrique. — On extrait de l'or dans la République du Transwaal et dans la colonie anglaise du Cap. On compte dans le Transwaal onze districts très riches en or, exploités depuis 1885. Les mines de Witwatersrand sont les plus importantes.

L'Afrique est probablement destinée à devenir plus tard une puissante productrice d'or. On rencontre ce métal précieux un peu partout, dans les régions montagneuses et le long des côtes occidentales où les indigènes échangent leur poudre d'or contre les produits d'Europe. Au Zambèze, il existe des traces d'exploitation d'or le long d'une zone bordant la mer sur une longueur de 80 kilomètres et une largeur de 5 kilomètres. D'après la tradition, ces mines auraient jadis fourni de l'or à la reine de Saba.

Amérique. — Les célèbres gisements de Californie ont été découverts de 1850 à 1856 ; des villes populeuses se sont fondées en peu d'années dans ces régions jadis désertes. Le lavage des sables aurifères, pratiqué au début par des aventuriers, se fait actuellement par des Chinois. Ces sables, étant presque épuisés, il faut s'attaquer aux filons quartzeux, cause d'une grande diminution dans la production.

On rencontre aussi de l'or dans le Colorado, dans la chaîne des Alleghanys, dans l'Alaska près du lać Deasse, dans la presqu'île de l'ancienne Amérique Russe ; en Nouvelle-Écosse et au Canada.

Toute l'Amérique est riche en gisements aurifères. On exploite de l'or à Cuba, au Mexique, dans la Colombie Anglaise près d'Antoquia, au Vénézuela, au Chili, dans les Guyanes. La Guyane française est d'une richesse inouïe en or; on trouve ce métal en abondance dans les sables, mais le manque de routes, l'insalubrité du climat et la cherté des vivres en arrêtent l'exploitation. On commence cependant à extraire l'or des quartz situés dans les régions élevées. En 1889, la Guyane française a fourni 1800 kilos d'or d'une valeur de 5 500 000 francs.

Australie. — Les gisements d'or de l'Australie ont été découverts en 1851, d'abord dans la province de Victoria, puis dans la Nouvelle-Galles du Sud et dans la Nouvelle-Zélande. Ils ont fourni jusqu'ici pour plus de 8 milliards de francs d'or. On compte dans ces pays 50 000 mineurs, la plupart Chinois. Mais la production va en diminuant, comme celle des États-Unis.

L'île de Sumatra est très riche en or, cependant ce métal y est à peine exploité. On le rencontre surtout le long du littoral ouest et dans les montagnes du centre de l'île.

II. — PLATINE.

Le platine mérite le nom d'*or blanc*, car il possède toutes les propriétés si précieuses de l'or : très peu altérable, résistant aux agents d'oxydation, très ductile et très malléable. C'est aussi le métal usuel le plus lourd et le plus infusible. On ne peut le fondre que dans un creuset en chaux, au moyen du chalumeau oxhydrique. Cette grande infusibilité en limite beaucoup l'emploi. Si le platine avait autant d'usages que l'or, il serait beaucoup plus cher, à cause de sa rareté.

Sa couleur blanc grisâtre, peu agréable à l'œil, ne permet guère son emploi dans la bijouterie et l'orfèvrerie. On l'utilise surtout pour la fabrication des appareils de chimie, vu sa

grande inaltérabilité et son prix notablement inférieur à celui de l'or. Dans l'industrie, il sert à confectionner les cornues destinées à la distillation de l'acide sulfurique ; la valeur de certaines de ces cornues s'élève jusqu'à 70000 francs.

L'alliage de platine et d'iridium, plus malléable, plus dur, plus infusible et plus résistant que le platine pur, a été choisi pour la confection des étalons du système métrique international.

On se sert depuis quelques années du platine pour le platinage des métaux, de la porcelaine et du verre.

Le platine fut découvert au Pérou, en 1735, par don Antonio de Ulloa, mathématicien espagnol. Il a été trouvé depuis cette époque, accompagnant l'or, dans un grand nombre de terrains d'alluvion, au Pérou, au Brésil, à Saint-Domingue, dans la Colombie, en Californie, en Australie, en Birmanie, à Bornéo, mais principalement en Russie, dans la chaîne de l'Oural. Les deux tiers de la production totale, qui s'élève annuellement à 4000 kilos environ, proviennent de l'Oural. Le platine s'y rencontre à l'état de paillettes ou de grains au milieu des sables aurifères dans les districts de Bisserski, de Verkhotourski et de Goroblagodatski, sur les deux versants de l'Oural. Les sables sont recouverts d'une couche épaisse de tourbe sous laquelle on creuse des galeries.

Avant 1860 le platine de l'Oural était dédaigné des chercheurs d'or de cette contrée ; ils l'utilisaient pour charger leurs fusils, à la place des grains de plomb.

Le minerai de platine est loin d'être pur ; il est combiné à de l'or, du fer, de l'osmium, du rhodium, du palladium et de l'iridium. On se borne le plus souvent à fondre le minerai dans un creuset de chaux ; les métaux oxydables sont absorbés par la chaux et il ne reste plus qu'un alliage, composé principalement de platine et d'iridium, constituant le platine du commerce.

On traite quelquefois le minerai de platine par de l'eau régale faible, qui dissout les corps étrangers, puis par de l'eau régale concentrée qui dissout le platine. Le chlorure de platine ainsi obtenu est mélangé avec du chlorhydrate d'ammoniaque : il se forme un précipité qu'on décompose par la chaleur. On a

de la *mousse* de platine qu'on fond ou qu'on agglutine par forte pression au rouge blanc. Comme le fer et l'or, le platine se soude en effet à lui-même quand on le comprime à haute température.

III. — ARGENT.

L'argent est un métal précieux, inaltérable par les agents d'oxydation, moins cependant que l'or et le platine; il prend avec le temps une teinte recherchée des amateurs, dite *vieil argent*, due surtout aux émanations d'acide sulfhydrique. Le grand défaut de l'argent est de se laisser très facilement attaquer par ce gaz nauséabond et délétére, d'où la nécessité d'enfermer soigneusement l'argenterie quand on vide les fosses d'aisances. L'argent possède l'éclat le plus blanc et le plus beau poli. Très malléable et très ductile, on peut l'étirer en fils et en lames, comme l'or et le platine. Il fond vers 1000°. On doit l'allier avec le cuivre pour la fabrication des monnaies et des bijoux, sinon son usure serait trop rapide. Il est très employé pour l'argenture galvanique et l'argenture des glaces.

L'argent donne plusieurs composés utiles : les chlorure, bromure et iodure d'argent, employés en photographie ; l'azotate d'argent, servant à la préparation des autres sels d'argent, à composer une encre pour marquer le linge, à teindre les cheveux en noir, à cautériser en médecine sous le nom de *pierre infernale*; le sulfure d'argent, utilisé en orfèvrerie pour le niellage.

Métallurgie de l'argent. — L'argent natif est rare ; on trouve surtout l'argent combiné avec du soufre et de l'antimoine, du cuivre, du plomb et un grand nombre d'autres métaux.

Minerais riches en argent natif et en sulfure d'argent. — On les fond avec du plomb qui se combine à l'argent pour former un alliage fusible et facile à recueillir au bas du fourneau. Cet alliage est ensuite soumis à la *coupellation*, c'est-à-dire chauffé fortement dans un four traversé par un violent courant d'air. L'oxyde de plomb produit, ou litharge, est entraîné par le courant d'air et l'argent inoxydable reste à l'état de pureté.

Minerais pauvres. — C'est le cas le plus général et le plus important.

A Freiberg, en Saxe, on grille le minerai finement pulvérisé dans un courant d'air, d'où la transformation des sulfures métalliques (argent, cuivre, fer) en sulfates. On ajoute du sel marin et on continue le grillage. Il se forme du chlorure d'argent et du sulfate de soude. La masse est ensuite traitée par l'eau bouillante tenant en dissolution du sel marin ; le sel dissout le chlorure d'argent. On filtre la liqueur, on y met du cuivre très divisé qui précipite l'argent métallique. Le chlorure de cuivre formé est lui-même traité par des lames de fer qui précipitent le cuivre. Ce cuivre sert à réduire le chlorure d'argent.

En Amérique, on pulvérise très finement le minerai, on le mélange avec un peu d'eau, du sel marin et du sulfate de cuivre (*magistral*) et on fait piétiner le tout par des chevaux. Le sulfate de cuivre est transformé en chlorure par le sel marin, et le chlorure de cuivre transforme à son tour le sulfure d'argent en chlorure d'argent. Au bout de quelques jours de piétinement, on ajoute du mercure, puis on fait piétiner de nouveau pendant plusieurs mois. Le chlorure d'argent est réduit par le mercure et il se forme un amalgame. On lave la masse dans un fort courant d'eau qui entraîne tout, sauf le mercure argentifère.

Ce mercure est mis dans un sac qu'on comprime : le mercure filtre et il ne reste dans le sac que l'amalgame d'argent solide. On distille cet amalgame : le mercure se vaporise et l'argent demeure comme résidu dans la cornue.

Extraction de l'argent de la galène. — La galène ou sulfure de plomb contient presque toujours du sulfure d'argent. On en retire l'argent par deux procédés.

1° Dans la méthode du *pattinsonnage*, on fond le plomb extrait de la galène et on laisse refroidir lentement. Il se produit des cristaux de plomb de plus en plus riches en argent à mesure que la température s'abaisse. Par des cristallisations successives, on parvient à concentrer l'argent dans le moins

de plomb possible. Ce plomb argentifère est soumis à la coupellation.

2° Le plomb est fondu et on ajoute du zinc. Il se forme un alliage de plomb, de zinc et d'argent, léger, montant à la surface du bain et se solidifiant. Cet alliage est débarrassé du zinc par un courant de vapeur d'eau qui traverse l'alliage fondu et oxyde le zinc seulement. Le plomb argentifère restant est ensuite soumis à la coupellation.

Extraction de l'argent du sulfure de cuivre. — Le sulfure de cuivre, ou *cuivre gris*, renferme aussi du sulfure d'argent. On le grille et on le fond à plusieurs reprises, ce qui donne un *cuivre noir* impur. On traite ce cuivre par l'acide sulfurique qui dissout le cuivre seul et abandonne l'argent comme résidu. On peut aussi retirer l'argent du cuivre par la méthode de fusion avec le plomb.

Raffinage de l'argent. — L'argent ainsi obtenu n'est pas pur et contient plusieurs métaux étrangers. Pour le purifier, on le fond dans un creuset avec un peu de salpêtre qui oxyde les métaux autres que l'argent. On peut aussi le purifier par une coupellation dans un creuset en cendres d'os. Le plomb s'oxyde et donne de la litharge, qui entraîne les oxydes des autres métaux et filtre à travers la cendre d'os poreuse.

Affinage des métaux pour en retirer l'argent. — Quand on veut retirer l'argent d'un alliage de cuivre et d'argent, de la monnaie d'argent par exemple, on fond l'alliage et on le grenaille en le versant dans de l'eau froide. On traite cette grenaille par l'acide sulfurique concentré et bouillant, puis on précipite l'argent de la dissolution avec des rognures de cuivre pur. La poudre d'argent est fondue et coulée en lingots.

Statistique. — La production de l'argent va sans cesse en croissant : 780 000 kilos en 1850, 2 millions de kilos en 1875, plus de 4 millions de kilos en 1879. On évalue à 51 milliards de francs la valeur de l'argent extrait depuis quatre siècles. Comme conséquence, la valeur de l'argent va sans cesse en diminuant.

Les principaux pays producteurs d'argent sont les deux

Amériques et l'Europe ; les Amériques en fournissent de 1020 à 1400 tonnes par an, l'Europe 200 tonnes seulement.

Tableau de la production en 1891.

	Millions de francs.
États-Unis	390
Mexique	271
Bolivie	80
Allemagne	69
Chili	16
Espagne	11
France	11
Amérique Centrale	10
Guyane Anglaise	10
Chine	9

Viennent ensuite : le Pérou, la Colombie, la République Argentine, l'Australie, le Japon, l'Autriche-Hongrie, l'Italie, l'Espagne, la Russie, la Norvège et la Suède, l'Angleterre, la Grèce, etc.

L'argent abonde dans la région occidentale des États-Unis. Dans l'État de Névada, trente-cinq compagnies se sont établies sur le seul filon de Comstock. Il existe aussi d'énormes filons argentifères au Mexique, principalement dans le district de Zacatecas.

La fameuse mine de Cerro de Pasco, au Pérou, située à 100 kilomètres d'Oroya, sur le Plateau Central, à 3800 mètres d'altitude, est la plus riche du monde.

Citons aussi les mines du département de Copiapo, au Chili, celles de Silverton, dans la Nouvelle-Galles du Sud, en Australie, récemment découvertes par un bouvier.

Le Japon exploite de l'argent dans les mines de Ginzan Machi, Yazawa, dans les monts Kiseizan et Tenjoozan.

Les mines d'Europe nous intéressent davantage.

La France et l'Angleterre possèdent quelques rares gisements de galène argentifère et leur production en argent est très faible.

L'Allemagne exploite de riches mines d'argent, surtout à Freiberg, en Saxe.

Citons les vieilles mines de Pribam, en Bohême, ouvertes au XIVe siècle, possédant les puits les plus profonds du monde, 1116 et 1099 mètres. Ces puits sont divisés en trente-deux

étages ; on a établi un observatoire météorologique pour la température et le magnétisme dans l'étage inférieur.

Citons encore les mines de Kongsberg dans la Norvège, de Sala en Suède, de la Sierra Almagrera près Carthagène et d'Hiendalaencia dans la Sierra de Guadarrama, en Espagne, la zone argentifère de Sarrabus en Sardaigne, enfin les mines du mont Laurium, en Grèce, qui occupaient 20 000 mineurs du temps de Thémistocle et dont on retire aujourd'hui l'argent des scories, argent non extrait alors, étant donnée la défectuosité des procédés métallurgiques usités en ces temps primitifs.

CHAPITRE III

MÉTAUX COMMUNS

I. — FER.

Le fer ne se trouve jamais à l'état natif, mais combiné surtout avec de l'oxygène et du soufre. Malgré sa métallurgie si difficile, il fut connu des hommes depuis une très haute antiquité, d'où cette conséquence forcée que la civilisation date d'une époque extrêmement reculée. Les Égyptiens et les Phéniciens faisaient déjà usage du fer, vingt-cinq siècles avant l'ère chrétienne. L'or, l'argent, le cuivre et le bronze précédèrent le fer. L'Amérique, avant la découverte des Espagnols, ne connaissait encore que ces quatre métaux et ignorait l'usage du fer. On en a conclu que toutes relations entre l'Amérique et l'ancien continent avaient été rompues avant l'âge du fer. La similitude des arts à l'époque druidique démontre d'ailleurs que les deux parties du monde communiquaient dans les premiers âges de la civilisation. La découverte de l'acier et de sa trempe est également très ancienne et ne doit pas différer beaucoup de l'époque de la découverte du fer.

Le fer, le plus tenace de tous les métaux usuels, constitue le métal par excellence. Ductile et malléable quand on le chauffe, cette propriété permet de l'étirer en fils et de le réduire en plaques. Les chocs répétés ont l'inconvénient très grave de modifier sa structure, de le rendre *fibreux*, très cassant sous ce

nouvel état : de là les ruptures fréquentes des essieux des voitures et des câbles.

Le fer, comme l'or et le platine, se ramollit et se soude à lui-même quand il est chauffé au rouge, d'où la possibilité de le forger. Il ne fond qu'aux températures les plus élevées des forges, vers 1500 degrés.

Le fer pur, appelé *doux* par les métallurgistes, peut être aimanté, mais son aimantation cesse en même temps que la cause qui la produit. Au contraire, il conserve son aimantation quand il est combiné à un peu de carbone (acier ou fonte). Le soufre, l'arsenic, le phosphore, le carbone, le rendent cassant.

Inoxydable dans l'air sec, le fer se rouille très facilement dans l'air humide, d'où la nécessité de le recouvrir d'une substance protectrice. Il ne se rouille pas seulement à la surface, comme le cuivre, l'étain, le zinc, le plomb, mais dans toute son épaisseur. Enfoui dans le sol, le fer, subissant une oxydation complète, se transforme totalement en rouille.

Du fer dérivent des composés chimiques très nombreux et très utiles. Les oxydes naturels, *ocre rouge* et *sanguine*, sont employés en peinture, pour fabriquer des crayons et brunir les métaux. Un autre oxyde, le *colcothar*, obtenu par la calcination du sulfate de fer, sert à polir les métaux, les glaces, les pierres dures, à affiler les rasoirs, à préparer le mastic des fontainiers par son mélange avec de la résine et du suif fondus.

Le *bisulfure de fer* naturel ou *pyrite* produit l'acide sulfureux nécessaire à la fabrication de l'acide sulfurique.

Le *perchlorure de fer* dilué arrête les hémorrhagies.

Le *bleu de Prusse* (cyanure de fer) est une magnifique couleur très utilisée en peinture, en teinture, pour l'impression des tissus et des papiers peints ; broyé avec de l'acide oxalique, il donne une bonne encre bleue.

Le *prussiate jaune de potasse* (cyanure de potassium et de fer) entre dans la préparation du bleu de Prusse.

Le *sulfate de fer*, désigné dans le commerce sous les noms de *vitriol vert* ou *couperose verte*, sert à conserver les bois, à fabriquer l'encre ordinaire, à désinfecter les fosses d'aisances, à

teindre les tissus en noir, à préparer le mélange Laming pour la purification du gaz d'éclairage.

Le *carbonate*, le *citrate*, le *tannate*, le *tartrate* de fer sont utilisés en médecine contre l'anémie.

1° **Minerais de fer.** — Les seuls minerais *de fer* employés en métallurgie sont les oxydes et les carbonates. Les carbonates doivent subir préalablement la calcination pour être transformés en oxydes. Quant aux sulfures, ce sont des minerais de soufre et non de fer, la présence du soufre rendant le fer trop cassant.

Le fer *oxydulé* ou *oxyde magnétique* donne les meilleurs fers et aciers. Sa propriété d'être attiré par l'aimant ou d'être lui-même un aimant, le distingue de tous les autres minerais de fer.

Le fer *oligiste*, nommé *hématite rouge* ou *sanguine* quand il est rouge et sans éclat, constitue un excellent minerai très recherché; l'*hématite brune*, la *limonite*, le fer *oolithique*, le fer *hydraté* sont des variétés de fer oligiste plus ou moins hydraté.

La *sidérose* ou *fer spathique*, le *fer carbonaté lithoïde*, variétés de carbonate de fer, sont très recherchés; le grillage les transforme en oxyde magnétique. Le fer spathique d'Allevard, dans l'Isère, devient même par grillage un véritable aimant.

En 1890, il a été extrait un peu plus de 50 millions de tonnes de minerais de fer dans le monde entier. Voici le tableau de la production des contrées où l'industrie métallurgique est développée.

	Tonnes.
Angleterre	14.800.000
États-Unis	12.500.000
Allemagne	7.800.000
Espagne	5.600.000
Belgique et Luxembourg	3.100.000
France	3.000.000
Autriche-Hongrie	1.570.000
Russie	1.040.000
Suède	959.000
Algérie	384.000
Italie	230.000

Europe. — Les mines ont eu leur heure de grande prospérité en France, mais ç'a été pendant l'occupation romaine et au moyen âge. Les Romains, ces infatigables mineurs, ont creusé des galeries souterraines remarquables, montrant combien l'art

de l'ingénieur était déjà avancé à cette époque. Les seigneurs et le clergé, propriétaires des mines pendant le moyen âge, exploitèrent intensivement le sol pour s'enrichir. Mais, quand la royauté eut anéanti la noblesse, quand la France fut livrée aux discordes civiles et religieuses, quand surtout la découverte de l'Amérique eut transporté dans le nouveau monde l'esprit d'aventure, les mines furent presque complètement abandonnées ; depuis cette époque, rien n'a pu les faire sortir de leur torpeur.

L'abandon des mines en France vient aussi de la difficulté de se procurer les capitaux et le personnel nécessaires. Les capitalistes refusent leur argent aux entreprises de leur pays, préférant le porter sur des mines étrangères souvent ruineuses.

La France est cependant aussi riche en métaux que l'Angleterre et l'Allemagne, les contrées minières par excellence. L'ouvrier français n'aime pas la vie souterraine, avec ses dangers et ses tristesses ; il préfère de beaucoup le travail en plein jour, à la lumière vive et gaie du soleil.

On trouve dans maintes localités des cavités creusées dans le sol, datant de l'époque gallo-romaine, d'où l'on a extrait des minerais de fer ; on retrouve aussi près de ces cavités les scories laissées par les forges où ces minerais ont été traités pour l'extraction du fer. Ces restes antiques se rencontrent notamment dans la forêt d'Othe, dans le Sénonais, dans le Gâtinais, dans le Périgord ; dans les environs de Segré, en Anjou ; entre Sambre et Meuse, en Belgique, etc., etc.

En 1888, la France a extrait près de 3 millions de tonnes de minerais de fer, dans 64 mines et 81 minières en activité. Sur ce chiffre, les minerais hydroxydés oolithiques de la Meurthe-et-Moselle entrent pour la majeure part, soit 2456006 tonnes. Le reste se compose de 150 000 tonnes d'hématite rouge et de fer oligiste, 86 000 tonnes d'hématite brune et 44 000 tonnes de fer carbonaté spathique. Il a fallu demander à l'étranger, principalement au Luxembourg et à l'Espagne, le surplus nécessaire à la fabrication du fer et de l'acier, soit un nombre de tonnes égal à la moitié de la production française.

Le fer hydroxydé oolithique, ayant l'apparence de petites boules, abonde dans la Meurthe-et-Moselle. On l'exploite depuis l'extrême limite du département, à Longwy et Briey, jusque dans les environs de Nancy, à Champigneulles, Frouard, Pompey, etc. Ces couches de minerai s'étendent au loin, non seulement en France, dans la Haute-Marne, mais aussi dans le Luxembourg et dans toute la Lorraine allemande. Ces grains ferrugineux sont très recherchés pour la fabrication de l'acier. Leur proximité a considérablement développé l'industrie métallurgique dans toute cette partie orientale de la France. On exploite aussi du fer oxydé hydraté dans le Cher, à Vicdessos (Ariège), au Canigou (Pyrénées-Orientales), au Travers près Bessèges (Gard), dans le voisinage du Creusot, etc.

Le fer oxydulé magnétique est rare en France. Les principaux gisements sont situés à Mas-Carol (Pyrénées-Orientales), Bas-Vallon (Côtes-du-Nord), Villefranche (Aveyron), Collobrières (Var) et Dielette près Cherbourg; cette dernière mine offre cette particularité de ne pouvoir être exploitée qu'à marée basse.

Le fer oligiste et l'hématite rouge se rencontrent dans les Pyrénées, à la Voulte et à Privas dans l'Ardèche, à Framont dans les Vosges. La mine de Framont, aujourd'hui abandonnée, a fourni des cristaux aussi remarquables que ceux des gisements si célèbres de l'île d'Elbe.

Le fer spathique est très rare : on le trouve à Allevard et à Vizille, dans l'Isère, sur les flancs de la chaîne de Belledonne, à Saint-Georges-d'Hurtières, près d'Aiguebelle, et à Modane, en Savoie; au Canigou, dans les Pyrénées. Quant au fer carbonaté lithoïde, peu exploité, on le rencontre surtout à Aubin, dans l'Aveyron, à Alais, dans le Gard.

Les minerais de fer forment quatre groupes principaux en Angleterre : l'Écosse, le Staffordshire, le Pays de Galles et le groupe du Nord (Durham, Cleveland et Cumberland). On recherche beaucoup le fer oligiste et l'hématite rouge manganésifère du Cumberland et du Lancashire. On trouve très peu de fer spathique, seulement dans la presqu'île de Cornwall et dans le Somersetshire. Le fer carbonaté lithoïde est au contraire très

commun dans les terrains houillers, au sud du Staffordshire, dans le Pays de Galles, en Écosse et dans le Yorkshire.

Presque toutes les mines de fer de la Belgique sont abandonnées, sauf le fer oligiste et la limonite des bords de la Meuse. Par contre, on exploite très activement dans le Luxembourg, surtout dans les communes voisines d'Esch-sur-Alzette, un minerai de fer semblable à celui de Meurthe-et-Moselle, en France.

L'Europe Centrale, l'Allemagne et l'Autriche-Hongrie, renferment d'abondantes mines de fer. Signalons le fer oxydulé de Moravitza, en Hongrie, le fer oligiste du Nassau, le fer spathique de Müsen dans le pays de Siegen, de la Thuringe, de la Styrie, et de la Carinthie. L'Allemagne abonde en minerais de fer hydroxydés ; on sait que les gisements oolithiques de la France et du Luxembourg se poursuivent dans la Lorraine allemande. On y trouve aussi beaucoup de fer hydroxydé, dit des *lacs*, des *prairies* ou des *marais*, dépôts effectués pendant l'époque géologique actuelle.

Le fer oxydulé magnétique, manganésifère, titanifère et accompagné de grenats, se rencontre en abondance dans la Suède et la Norvège, surtout dans le gouvernement d'Oerebro. On en trouve aussi en Laponie. La Russie possède quelques belles mines de fer, notamment dans le Caucase, dans l'Oural (fer oxydulé de Blagodat), sur la rive droite du Dnieper, à Krivoï-Rog (fer oxydulé et fer oligiste), en Pologne où abonde le fer carbonaté lithoïde. On compte 1283 mines de fer dans toute la Russie.

L'Italie renferme des minerais de fer excellents, mais elle les exploite peu ; dans ce beau pays, comme en France, on préfère le soleil à la clarté fumeuse des souterrains. Le fer oxydulé abonde en Sardaigne, dans la région sud, près de Saint-Léon, dans l'île d'Elbe, dans la Toscane à Stazemma, dans les vallées alpestres d'Aoste, de Cogne et de Traverselle. Les mines de fer oligiste de l'île d'Elbe sont célèbres depuis longtemps. Signalons aussi le fer carbonaté des provinces de Bergame, de Brescia et de Côme.

L'Espagne est aussi un magnifique pays minier, mais les mineurs, y sont rares, comme en France et en Italie. Les gisements ferrugineux abondent sur les côtes de la Méditerranée et du golfe de Gascogne. Citons le fer oligiste de Balmès, dans la province de Cordoue, les hématites brunes des Pyrénées et de Sommorostro, près de Bilbao, le fer spathique de la vallée de la Bidassoa. Les mines de Bilbao comptent parmi les plus importantes du monde entier; le minerai, exporté en majeure partie, représente une valeur annuelle de 20 millions de francs. On trouve du fer oxydulé au Portugal, dans la province de Galicie et dans l'Algarve.

Afrique. — L'Europe tire des minerais de fer de l'Algérie, qui possède deux centres importants d'extraction, Aïn Mokra, près Bône (oxyde magnétique) et R'ar el Baroud, près Oran (hématite rouge manganésifère). Les minerais algériens s'exportent surtout en Angleterre, aux États-Unis et en Hollande; la France en a pris seulement 25 000 tonnes en 1888 sur une production totale de 384 000 tonnes.

Asie. — Nous n'avons à signaler que les mines de fer du Japon. Le fer ne manque certainement pas en Asie, mais il y est peu exploité.

Amérique. — Les États-Unis sont très riches en minerais de fer oxydulé dans les États de Michigan, de New-York, de New-Jersey, en Californie, dans le Missouri; fer carbonaté lithoïde dans la Pensylvanie; fer oxydé hydraté dans un très grand nombre de localités.

Signalons aussi le fer oxydulé du Canada, de la montagne de Cerro-Mercado au Mexique, de Cuba, du Brésil où il abonde dans les provinces de Gerães, de Saint-Paul et de Goyas. On trouve des montagnes entièrement constituées par du minerai de fer dans la province de Gerães. De même au Mexique qui, outre sa célèbre montagne de Cerro-Mercado, possède encore d'immenses massifs d'hématite rouge et de fer oligiste à Tlaxico et à Comanja. Le fer abonde dans le Vénézuela. Il existe donc des réserves immenses de fer en Amérique pour le jour prochain où les industries métallurgiques s'y développeront.

Australie. — Le fer oligiste abonde dans la Nouvelle-Galles du Sud, surtout à Narara Creek ; à signaler aussi le gisement du mont Nowa-Nowa, dans le Gippsland.

2° **Métallurgie du fer.** — Les minerais de fer doivent subir un traitement préalable, dans le but de les débarrasser de leur *gangue*, matières étrangères qui les accompagnent toujours. Cette opération n'est d'ailleurs pas particulière aux minerais de fer, elle s'applique indistinctement à tous les autres minerais. Le lavage des sables aurifères est un traitement préalable, identique au fond à celui du fer.

On commence par casser les gros blocs au marteau, puis à trier à la main. On procède ensuite au *bocardage*, c'est-à-dire au broyage à l'aide de cylindres broyeurs. Les débris sont classés par ordre de grosseur au moyen de cribles ou de cylindres-cribles, dits *trommels*. Enfin, on sépare les grains de minerai des impuretés, en se basant sur l'inégalité des densités, les minerais de fer étant beaucoup plus lourds que la gangue. On lave sur une table inclinée avec un fort courant d'eau : les impuretés sont entraînées et le minerai reste. On se sert aussi de tables à secousses ; les chocs répétés produisent la séparation. Sous le nom de table *tournante*, on fait enfin usage d'un cône large, à pente faible, tournant autour de son axe : le minerai s'étale par couches de densités différentes sous l'action de la force centrifuge.

Dans l'antiquité, on obtenait le fer par une méthode simple, mais primitive. Le minerai, mélangé avec du charbon de bois pulvérisé, était porté à une haute température dans un fourneau en briques réfractaires au moyen d'un fort courant d'air arrivant dans le fond du fourneau. L'oxyde de carbone réduit l'oxyde de fer et la masse incandescente se charge de poudre de fer, disséminée au milieu du mélange. En brassant cette masse, les particules de fer se soudent entre elles et forment une sorte d'éponge de fer, gorgée de silicate de fer en fusion. Ce silicate provient de la combinaison d'une portion du fer avec la silice qui accompagne toujours les minerais de fer. On portait cette éponge sous un marteau pilon qui écrasait

la masse, expulsait le silicate et soudait fortement le fer.

La méthode des anciens, désignée sous le nom de *catalane*, a disparu de nos jours pour plusieurs raisons : donnant trop peu de métal à la fois, elle ne pouvait plus suffire à l'énorme consommation de fer exigée par l'industrie métallurgique ; elle perdait une grande partie du fer sous forme de silicate et exigeait l'emploi du charbon de bois, beaucoup plus cher que la houille. On a remplacé la méthode catalane par celle des *hauts fourneaux*, produisant en une seule opération des quantités énormes de métal, ne perdant plus de fer et utilisant la houille au lieu du charbon de bois.

Le fourneau est d'une très grande capacité. On mélange le minerai de fer avec du coke (on ne peut employer la houille elle-même qui contient du soufre et rend le fer cassant) et du carbonate de chaux ou *castine* qui se combine à la silice pour former du silicate de chaux.

Cette formation de silicate de chaux, au lieu de silicate de fer, conduit à un résultat très intéressant. Le silicate de chaux étant peu fusible, il faut chauffer, pour le fondre, beaucoup plus fortement que dans la méthode catalane ; mais, sous l'action de cette température élevée, le fer se combine au charbon et l'on obtient, non plus du fer, mais de la *fonte*. Fonte et silicate de chaux entrent en fusion, tombent et viennent s'accumuler au fond du fourneau.

Un autre avantage immense des hauts fourneaux est de permettre la fabrication continue de la fonte. On charge continuellement le fourneau par le haut (gueulard), tandis que les matières fondues et accumulées à la base sont enlevées à des intervalles de temps réguliers. On pratique une ouverture à la base : la fonte, plus lourde et située à la partie inférieure, coule la première dans des rigoles de sable où elle se solidifie ; le *laitier* ou silicate de chaux s'écoule ensuite.

L'invention des hauts fourneaux n'est pas récente : elle date du commencement du XVI[e] siècle. La production s'élevait alors à une tonne de fonte par jour et on y utilisait le charbon de bois. On n'utilisa le coke qu'à la fin du XVIII[e] siècle. Cependant,

encore de nos jours, on emploie le charbon de bois quand il s'agit d'obtenir des fontes spéciales, de qualité supérieure.

La méthode des hauts fourneaux ne prit donc de l'extension qu'à partir de la fin du XVIIIe siècle, principalement en Angleterre, pays où le bois fait défaut, mais où la houille abonde et où l'industrie métallurgique avait déjà pris un grand développement. Les dernières forges catalanes n'ont définitivement disparu du continent que vers le milieu du XIXe siècle ; peut-être cependant trouverait-on encore, à l'heure actuelle, dans une vallée retirée des Pyrénées, un de ces derniers vestiges d'une civilisation très ancienne.

Les hauts fourneaux ont subi de grands perfectionnements depuis un siècle. En 1760, Smeaton, en Angleterre, construisit des cylindres soufflants, sortes de pompes injectant une masse énorme d'air, ce qui augmente le rendement en fonte et permet d'accroître beaucoup les dimensions du haut fourneau. En 1788, toujours en Angleterre, on cessa d'employer le charbon de bois qu'on remplaça par du coke. Cette transformation économique ne fut adoptée en France que quarante ans plus tard.

En 1828, Beaumont et Neilson imaginèrent de chauffer l'air des souffleries, ce qui eut pour résultat de diminuer beaucoup la consommation du coke et la quantité de castine employée. L'air est chauffé par son passage à travers des tubes en fonte ou des chambres en briques réfractaires (système Siemens). Enfin, plus récemment, un ingénieur français a utilisé l'oxyde de carbone qui brûlait inutilement au sommet du gueulard ; ce gaz combustible est recueilli dans des réservoirs, mélangé avec de l'air, enflammé et sert à chauffer l'air des tuyères.

Le laitier lui-même, c'est-à-dire le silicate de chaux, est maintenant utilisé. En refroidissant lentement, il se convertit en une pierre dure qu'on transforme en pavés, en pierres à bâtir, dont on fait usage surtout dans certaines contrées de l'Angleterre et de la Belgique où manquent les matériaux résistants. On ne peut utiliser tous les laitiers, certains d'entre eux dégageant à l'air de l'hydrogène sulfuré. On réduit aussi le laitier en sable en le faisant couler encore liquide dans de l'eau

froide ; ce sable est excellent pour durcir les mortiers. On fabrique encore du verre à bouteilles avec certains laitiers. Enfin, une usine d'Osnabrück, en Allemagne, a obtenu de la laine minérale en injectant de la vapeur d'eau dans du laitier fondu. La vapeur entraîne le laitier avec elle et la matière en fusion se solidifie sous forme de fils fins, souples et élastiques, ressemblant à du coton. On se sert de ces fils pour conserver le chaud ou le froid, car ils sont très mauvais conducteurs de la chaleur. En Angleterre, on les utilise pour emballer les œufs ; aux États-Unis, pour doubler les planchers des wagons et amortir les bruits si désagréables produits par la trépidation.

Conversion des fontes en fer. — On peut obtenir à volonté deux espèces de fonte : la fonte blanche et la fonte grise. Quand la température du haut fourneau est relativement peu élevée, le fer se combine à peu de carbone et l'on a la fonte blanche ; au contraire, si l'on insuffle par la tuyère de l'air très chaud, à 450°, on élève davantage la température et la fonte dissout un excès de carbone. Ce carbone, quand la fonte refroidit, cristallise sous forme de paillettes microscopiques de graphite qui colorent la fonte en gris.

La fonte blanche est cassante et ne peut se travailler avec des outils d'acier ; elle est par contre excellente pour fabriquer les objets par moulage, car elle augmente de volume en se solidifiant et reproduit les traits les plus fins. Elle sert à préparer le fer par la méthode du *puddlage*, étant la moins riche en carbone.

La fonte grise, non cassante, peut se travailler facilement avec des outils d'acier. On en construit les machines.

Le *puddlage* consiste à enlever le carbone à la fonte blanche, ainsi que le soufre, le phosphore, le silicium et autres impuretés, de manière à obtenir le fer pur.

On exécute deux opérations successives. Dans la première, dite *finage*, on fond la fonte sur un lit de coke et on fait arriver un courant d'air qui brûle la majeure partie du carbone et du silicium. Le métal obtenu, dit *fine-metal*, est coulé dans des rigoles et brusquement refroidi avec de l'eau.

Dans la seconde opération, le *puddlage* proprement dit, on fond le *fine-metal* sur la sole d'un four à réverbère, four disposé de façon à mettre le métal en contact seulement avec la flamme et non avec la houille qui contient du soufre. Le métal repose sur un lit de scories (résidu d'une ancienne opération) et de fer oxydé (vieux fers rouillés). L'oxygène de l'oxyde de fer brûle le peu de carbone restant encore dans le *fine-metal*, tandis que le soufre et le phosphore sont absorbés par les scories. M. Minary conseille d'ajouter aux scories un peu de chaux et de houille non sulfureuse. On agite le métal fondu avec une barre de fer ; il devient plus pâteux et se réduit finalement en une masse spongieuse qu'on écrase sous un marteau-pilon ; les impuretés liquides sont expulsées et le fer se soude à lui-même sous forme de barre.

Le marteau-pilon se réduisait jadis à un lourd marteau, mis en mouvement par une roue hydraulique. En 1839, François Bourdon, ingénieur au Creusot, construisit le premier marteau-pilon à vapeur. Le marteau-pilon est une énorme masse d'acier, reliée par une tige au piston d'un cylindre à vapeur ; la vapeur soulève le piston et la masse d'acier retombe ensuite de tout son poids. Cet instrument, d'une docilité extrême, peut être manœuvré par un enfant ; il permet aussi bien de marteler les plus puissantes pièces de forge que d'enfoncer délicatement une épingle dans un bouchon.

La métallurgie actuelle exige des marteaux-pilons d'une puissance considérable. Celui du Creusot pèse 60000 kilos, sa chute est de 4 mètres et son prix de deux millions de francs. Celui de l'arsenal de Woolwich, en Angleterre, est de même puissance. L'usine Krupp, à Essen, en Allemagne, possède un marteau-pilon pesant 100 000 kilos, du prix de cinq millions de francs.

Les progrès de la métallurgie du fer ont fait diminuer d'un tiers le prix de ce métal depuis vingt ans. Tous les minerais de fer sont devenus utilisables, même les plus phosphoreux. Le spectroscope permet d'analyser le métal en fusion avant de le solidifier par le refroidissement, si bien que cette analyse est

la cause des plus grands progrès. La chaleur, perdue autrefois par les fours à puddler, sert à la production de la vapeur; la force mécanique est aussi bien utilisée que la chaleur. Il n'y a plus de machines inoccupées. Quand le travail qu'elles devraient fournir normalement est inutile, elles sont employées à refouler de l'eau sous des pistons lourdement chargés, et cette eau met en mouvement des machines pour la manœuvre des grues, des palans, etc.

Statistique. — En 1888, il a été produit dans le monde entier 25 millions de tonnes de fonte :

	Tonnes.
Grande-Bretagne	8.200.000
États-Unis	7.600.000
Allemagne	3.800.000
France	1.700.000
Belgique	840.000
Autriche-Hongrie	811.000
Luxembourg	543.000
Russie	623.000
Suède	421.000
Espagne	248.000

Dans cette même année, la production totale du fer dans le monde s'est élevée à 8 300 000 tonnes :

	Tonnes.
Angleterre	2.000.000
États-Unis	2.000.000
Allemagne	1.600.000
France	817.000
Belgique	548.000
Russie	363.000

Ensuite viennent la Suède et la Norvège, l'Italie et l'Espagne.

La France occupe seulement le quatrième rang dans le monde au point de vue de la métallurgie du fer, loin derrière l'Angleterre, les États-Unis et même l'Allemagne, résultat déplorable quand on songe qu'on peut mesurer la puissance d'une nation à la quantité de fer qu'elle produit. Ces tableaux montrent également que l'Europe et les États-Unis sont à peu près les seules à fabriquer le fer, d'où cette conséquence que ce sont à peu près les seules régions à exploiter des minerais de fer, minerais de peu de valeur relative et ne pouvant supporter des frais de transport que dans des cas exceptionnels de qualité

supérieure. Ceci explique aussi pourquoi l'Europe et les États-Unis sont en voie de conquérir le reste du monde. Les usines à fer sont distribuées dans la Grande-Bretagne suivant quatre régions principales : le nord de l'Angleterre (Cleveland, Cumberland et Durham), groupe principal ; le centre (Staffordshire et comtés voisins), le Pays de Galles et l'Écosse. La supériorité métallurgique anglaise vient de ce que la houille et les minerais de fer se trouvent partout réunis. Les hauts fourneaux d'Eston, les plus vastes du monde, occupent 6000 ouvriers.

Les principaux établissements métallurgiques des États-Unis sont situés dans la Pensylvanie (elle en possède la moitié à elle seule), dans les États de l'Ohio, d'Alabama, de New-York, de Virginie et de Michigan.

L'Allemagne a fait des progrès considérables dans ces dernières années. Ses usines sont concentrées dans les bassins houillers de la Westphalie, des provinces Rhénanes et de la Silésie.

La célèbre usine d'Essen fut à son origine, en 1810, une petite forge fondée par Friederich Krupp. En 1848, à la mort de son père, Alfred Krupp prit possession de l'établissement avec ses trois ouvriers. Or, en 1890, ce même usinier occupe 19 000 ouvriers et possède 550 mines de fer, tant en Allemagne qu'à l'étranger. Ses ateliers contiennent 450 machines à vapeur, 1750 machines-outils, 82 marteaux-pilons, sont desservis par 90 kilomètres de rails, 30 locomotives et 900 wagons. On y consomme par jour 3 millions de kilos de houille et 25 000 mètres cubes d'eau. L'existence des ouvriers et de leurs familles y est assurée par des logements à bon marché, des écoles, une infirmerie, des magasins d'alimentation où tout est vendu au prix de revient. Alfred Krupp a pieusement conservé au milieu de son immense usine la petite forge de son père. Voilà, certes, l'un des plus beaux exemples à citer d'une prospérité inouïe, due au seul travail d'un homme courageux. Nous allons retrouver un exemple semblable en France, avec l'usine du Creusot.

Les grands centres métallurgiques de la France sont : la Meurthe-et-Moselle, produisant à elle seule la moitié de la fonte ;

le Nord et le Pas-de-Calais ; le groupe de la Loire et du Rhône, avec Saint-Étienne comme centre principal ; le Sud-Est et le Dauphiné ; la Champagne, les Pyrénées et les Landes ; le Centre enfin. On compte en France 68 usines à fer et 106 hauts fourneaux en activité.

L'usine du Creusot doit être citée parmi les plus remarquables du monde entier.

Elle fut fondée en 1782, sur un emplacement admirablement choisi, à proximité de mines de houille et de fer. Louis XVI en fut un des actionnaires. En 1836 elle passa aux mains de MM. Schneider frères. En 1838 on y construisit les premières locomotives. Alors que Thiers niait l'avenir de cette nouvelle invention, les frères Schneider prévoyaient dès l'origine le développement que les chemins de fer devaient acquérir à bref délai. L'usine du Creusot a d'ailleurs toujours été à la tête du progrès, construisant, dès leur apparition, les bateaux à vapeur, les machines électriques, les monstrueux engins de guerre modernes. Bourdon, ingénieur au Creusot, imagina le marteau-pilon à vapeur, ce qui permit de construire pour la première fois des machines à vapeur de la force de 450 chevaux pour la marine. On lui doit encore les premiers canons Bange, les plaques de blindage les plus résistantes, l'outillage des manufactures d'armes de Châtellerault, de Tulle et de Saint-Étienne.

Charleroi, Liège, le Luxembourg belge sont les principaux centres de la métallurgie en Belgique, ce petit pays si industriel. La proximité du minerai de fer a également occasionné la construction de nombreux hauts fourneaux dans le Luxembourg hollandais. L'usine John Cockerill, située à Seraing, près de Liège, occupe 12 000 ouvriers. Les usines à fer se sont beaucoup multipliées en Russie dans ces derniers temps, en Pologne, dans l'Oural, en Finlande et dans le Sud.

Citons enfin les établissements métallurgiques de la Styrie, de la Carinthie et de la Transylvanie en Autriche, de Bilbao en Espagne, de la Toscane et de Bergame en Italie.

3° **Aciers.** — L'acier est un état particulier du fer, se reconnaissant à sa cassure grenue ; celle du fer est fibreuse, celle de

la fonte à gros grains. Ce métal tend de plus en plus à se substituer au fer, car il présente plus d'homogénéité, plus de résistance, plus d'élasticité et résiste davantage à l'oxydation ; il peut en outre se *tremper*. Il fond comme la fonte, se forge comme le fer, en sorte qu'il possède les qualités de ces deux métaux.

On ignore la véritable nature de l'acier. Toutes les variétés d'acier contiennent une proportion de charbon variant de 2 à 0,5 p. 100. Trop peu de charbon lui ôte de la dureté, trop de charbon lui enlève de la malléabilité et l'empêche de se souder sur lui-même comme le fer.

Outre le charbon, l'acier contient encore du soufre, du phosphore, du silicium, du manganèse. Le silicium s'y trouve toujours, mais les autres éléments peuvent faire défaut. Le silicium et le soufre rendent l'acier cassant ; le manganèse donne au contraire un métal de meilleure qualité et permet d'y laisser de petites quantités de phosphore. C'est pourquoi les minerais de fer riches en manganèse sont si recherchés pour la fabrication des aciers.

La cause de l'aciération semble préexister dans le minerai de fer lui-même ; certains minerais sont en effet incapables de fournir de l'acier, tandis que d'autres communiquent leur propriété aciérante à de grandes masses de fer.

L'acier n'est pas un métal bien défini, toujours identique à lui-même ; ses propriétés changent avec son mode de fabrication. Telle qualité d'acier, excellente pour un outil, est mauvaise pour un autre outil.

Il remplace le fer pour la fabrication des rails, des bandages des roues et des essieux des wagons, des tôles des chaudières à vapeur et des navires, des ponts, des obus, des plaques de blindage des navires cuirassés, etc. Si le XIX[e] siècle a mérité le nom de siècle du fer, le suivant sera probablement celui de l'acier.

Métallurgie de l'acier. — L'acier était déjà connu des anciens peuples civilisés ; on a découvert dans les ruines de Ninive des outils en acier parfaitement conservés, malgré leur séjour de plus de trois mille ans au milieu des décombres. Les Égyptiens,

les Grecs, les Indiens ont également su fabriquer ce métal. Au moyen âge, les Espagnols seuls savaient préparer l'acier ; mais, au XIIe siècle, des usines se fondèrent dans le reste de l'Europe, en Italie, en Allemagne, en Angleterre et en France.

1° *Acier naturel.* — On l'obtient en traitant les minerais de fer, doués de la propriété aciérante, par la méthode catalane, méthode déjà connue dès la plus haute antiquité pour la préparation du fer. Il faut avoir la précaution de laisser carburer le fer en le chauffant très fortement au milieu de la couche de charbon. L'acier a dû être connu en même temps que le fer, puisque la même méthode de préparation est capable de donner le fer ou l'acier.

La fonte des hauts fourneaux est également capable de se transformer en acier, au moyen d'une décarburation incomplète par la méthode du puddlage. C'est par ce procédé que Stengel, en Allemagne, et Soly, en Angleterre, obtinrent l'acier *puddle* vers 1840.

2° *Acier de cémentation.* — En 1550, une usine anglaise de Newcastle fabriqua un acier supérieur à l'acier naturel par la méthode dite de *cémentation.* On chauffe fortement pendant une quinzaine de jours, dans une caisse en briques réfractaires et hermétiquement close, des couches superposées de barres de fer et d'un mélange de charbon de bois, de sel marin et de cendres. L'aciération, surtout superficielle, donne un métal non homogène. En 1740, un ouvrier des environs de Sheffield, en Angleterre, Benjamin Huntsman, eut l'idée de remédier à ce grave inconvénient en fondant l'acier de cémentation dans des creusets en plombagine. Le métal, rendu homogène, acquiert une supériorité considérable. Grâce à cette découverte, les Anglais eurent pendant longtemps la réputation de fabriquer les meilleurs outils, les meilleurs couteaux, les meilleurs instruments de chirurgie, l'acier de cémentation fondu se trempant le mieux. Krupp, en Allemagne, fondit pour la première fois, à Essen, d'énormes pièces en acier ; jusqu'au milieu du XIXe siècle, on n'avait encore fondu que de faibles lingots d'acier. M. Stummer-Traunfelds, dans l'usine de Neuberg, en Styrie, comprime

l'acier fondu, ce qui enlève les bulles d'air et donne un métal encore plus homogène.

3° *Métal Bessemer*. — En 1856, une nouvelle découverte amena une révolution dans la fabrication de l'acier. Toutes les méthodes précédentes avaient le grave inconvénient de produire l'acier en trop faible quantité ; les progrès de la métallurgie exigeaient cependant chaque jour de plus grandes masses de métal. Henry Bessemer vint apporter la solution du problème. On introduit de la fonte en fusion dans une grande chaudière en tôle de fer, nommée *convertisseur*, revêtue intérieurement de briques réfractaires, puis on fait arriver par le fond de la chaudière un rapide courant d'air qui traverse la fonte et brûle le charbon ; on s'arrête juste à point, quand la fonte est transformée en acier.

La découverte de Bessemer, encore imparfaite, fut mal comprise au début ; elle ne prit son essor qu'après de nouvelles études, faites en 1859 dans l'usine de M. Gorauson, à Edsken, en Suède. On brûle maintenant la totalité du carbone de la fonte dans le convertisseur, puis on y ajoute un peu de fonte manganésifère et aciérante qui apporte la quantité nécessaire de charbon pour transformer le fer en acier.

Cette fabrication offre un spectacle des plus curieux ; quand l'air pénètre dans la fonte en fusion, le métal entre comme en ébullition : il se produit une flamme rugissante, une lumière intense et une fumée épaisse et rougeâtre. Au moment où tout le charbon est brûlé, le rugissement cesse brusquement. On ajoute à ce moment la fonte blanche manganésifère, ou *Speigeleisen*, puis on coule le métal dans des lingotières. M. Gilchrist, en Angleterre, a substitué au revêtement en briques réfractaires un revêtement de magnésie qui élimine le phosphore et le soufre de l'acier, rendant ce métal moins cassant.

L'acier Bessemer n'est pas un acier véritable ; on ne peut le tremper comme l'acier naturel ni comme l'acier de cémentation. On est donc convenu de lui donner le nom plus exact de *métal Bessemer*.

La découverte de Bessemer a fait considérablement diminuer

le prix de l'acier : de 1500 francs la tonne, il est descendu à 250 francs. On a calculé qu'en une seule année, en 1877, l'Angleterre a économisé, grâce à ce procédé, pour 750 millions de francs de houille.

4° *Métal Siemens-Martin.* — En 1864, M. Martin réussit à se procurer aussi de grandes quantités d'acier dans son usine de Sireuil, en France, par une autre méthode intéressante. On fond de la fonte sur la sole d'un four à réverbère, en se servant de la flamme de l'oxyde de carbone obtenu en faisant passer un courant d'air à travers une colonne de charbon incandescent (procédé Siemens), puis on ajoute du fer chauffé à blanc, de vieux fers de préférence, cette méthode étant précisément destinée à utiliser les vieux fers. La sole du four doit être recouverte de magnésie, laquelle enlève à l'acier le phosphore qui le rendrait cassant.

L'industrie obtient actuellement la presque totalité de l'acier par les deux méthodes Bessemer et Martin.

Trempe de l'acier. — L'acier, rougi au feu et trempé dans différentes substances, devient très dur, mais cassant. L'acier *trempé* se détrempe quand on le chauffe de nouveau. Cette propriété est particulière à ce seul métal.

On obtient différentes qualités d'acier trempé en se servant d'eau, d'huile, de résine, de graisse, de cire, de métaux fondus. On donne à l'acier la solidité voulue par une trempe suivie d'un recuit effectué à une température convenable.

M. Clémandot est parvenu à tremper l'acier en le comprimant très fortement au rouge à l'aide d'une presse hydraulique.

Alliages ferro-métalliques. — On a découvert, dans ces dernières années, qu'une très faible quantité d'un corps étranger, ajouté au fer ou à l'acier, communiquait à ces métaux des propriétés nouvelles. A la suite de recherches faites en France, à Montluçon, M. Robert Hadfield, de Sheffield, a obtenu un acier particulier, contenant jusqu'à 21 p. 100 de manganèse. Cet acier, d'une grande dureté, résiste parfaitement au choc et à l'usure ; il se lamine et se forge parfaitement. Sous cet état, il ne peut s'aimanter.

Le silicium, jadis considéré comme très nuisible, est allié maintenant aux fontes qui deviennent bien meilleures. Les premiers essais, faits d'abord en Angleterre, ont été poursuivis en France, à l'usine de Terre-Noire.

L'usine d'Unieux, également située en France, a combiné l'acier avec le chrome et le wolfram, qui le rendent très résistant au choc. L'acier chromé est utilisé dans la fabrication des tôles de protection servant aux navires de guerre, de même que dans celle des projectiles. Le titane donne aussi d'excellents résultats.

En 1885, Nordenfeld a obtenu en Suède un acier très ductile et se moulant admirablement, en ajoutant de faibles quantités d'aluminium. Dans cette même année, les usines de Montataire, d'Imphy et du Creusot, en France, additionnèrent leur acier de nickel et de cuivre, rendant ce métal d'une dureté et d'une résistance considérables, en même temps que beaucoup moins oxydable.

Statistique. — En 1890, il a été produit dix millions de tonnes d'acier dans le monde entier ; si la production du fer va sans cesse en décroissant, par contre celle de l'acier progresse très vite.

	Tonnes.
Angleterre	3.700.000
États-Unis	2.946.000
Allemagne	1.900.000
France	529.000
Russie	225.000
Suède	225.000
Belgique	215.000

La France occupe le quatrième rang. La valeur de sa production en acier s'élève à 120 millions de francs. On y compte 65 aciéries, 28 convertisseurs Bessemer, 59 fours Martin, 43 fours à puddler, 23 foyers de cémentation, 51 fourneaux de fusion, 17 000 ouvriers. Il a été produit 325 000 tonnes de métal Bessemer, 158 000 tonnes de métal Martin, 13 000 tonnes d'acier puddlé et seulement 1300 tonnes d'acier de cémentation. Les départements producteurs d'acier sont : la Meurthe-et-Moselle (146 000 tonnes), qui possède d'excellents minerais

de fer oolithique pour acier, le Nord (88 000 tonnes) et le Pas-de-Calais (51 000 tonnes); ensuite les départements de Saône-et-Loire et de la Loire.

II. — CUIVRE.

Le cuivre a été connu longtemps avant le fer, car on le trouve à l'état natif et ses minerais sont plus faciles à réduire que ceux de fer. C'est un métal rouge, se ternissant rapidement à l'air, mais seulement altérable à la surface. Quoique très mou, il offre une grande résistance à la rupture. Très ductile et très malléable, il se réduit facilement en fils et en lames. Il fond vers 1100°. Comme le fer, il se ramollit quand on le chauffe et peut se souder à lui-même par le martelage. Le cuivre et ses composés furent longtemps considérés comme très vénéneux; des expériences récentes ont démontré son innocuité dans la plupart des cas. Le sulfate de cuivre n'est vénéneux qu'à haute dose.

Le cuivre sert principalement à faire des ustensiles de ménage, des chaudières, des alambics, des doublages de navire; ses alliages ont reçu des applications plus nombreuses. On a coutume d'*étamer* les ustensiles de cuivre destinés à la cuisine, c'est-à-dire de les recouvrir d'une couche d'étain.

Cet usage, d'après Pline, viendrait des anciens Gaulois ; il a pour but de prévenir les empoisonnements par le cuivre, mais l'expérience a démontré l'innocuité de ce métal.

Le cuivre fournit plusieurs composés utiles. Le sous-oxyde sert à colorer le verre en rouge sang, le bioxyde à le colorer en vert. L'oxychlorure ou *vert de Brunswick* est employé en peinture ; celui du Pérou est pulvérisé et sert de sable à sécher l'écriture. L'azotate de cuivre est employé pour l'impression des indiennes. Le sulfate de cuivre est utilisé pour le chaulage du blé ; en galvanoplastie, dans la pile de Daniell ; en teinture, pour la préparation des couleurs de Brunswick, de Brême, de Scheele, de Schweinfurt, des cendres bleues artificielles. On l'obtient par l'action du cuivre sur l'acide sulfurique ou

mieux par l'oxydation des pyrites cuivreuses. Les carbonates de cuivre, remarquables par leurs belles teintes, se trouvent dans la nature à l'état de *malachite* et d'*azurite*.

La *malachite*, extraite principalement de l'Oural et de la Sibérie, est une magnifique roche d'ornementation, d'une coloration verte; sa poudre sert en peinture sous le nom de *vert de montagne*.

L'*azurite*, d'un beau bleu, se trouve à Chessy, près Lyon; en Sibérie, en Australie, en Angleterre dans la Cornouaille; en peinture on l'utilise, à l'état pulvérulent, sous le nom de *cendre bleue*.

Métallurgie du cuivre. — Le cuivre, rare à l'état de *cuivre natif* et de *cuivre oxydulé* (combinaison du cuivre avec l'oxygène), se rencontre surtout combiné avec le soufre (*cuivre sulfuré gris* ou *chalkosine*) ou avec le fer et le soufre (*cuivre pyriteux* ou *chalkopyrite*).

La métallurgie du cuivre natif est simple : on fond le minerai en présence d'un courant d'air qui oxyde les matières étrangères. On réduit l'oxyde de cuivre en brassant le cuivre fondu avec du bois vert.

La métallurgie du cuivre oxydulé est également peu compliquée. La réduction par le charbon fournit du cuivre impur, dit *cuivre noir*. Pour raffiner le cuivre noir, on le fond dans un courant d'air : les métaux étrangers s'oxydent en formant des scories qu'on enlève. On verse un peu d'eau sur la masse de cuivre fondu, et il se solidifie un premier disque de cuivre ; on verse encore de l'eau, ce qui fournit un second disque et ainsi de suite. Ce cuivre se nomme *rosette*. Il faut enfin fondre le cuivre rosette avec un peu de charbon de bois pour réduire l'oxyde de cuivre qu'il contient encore; la présence de cet oxyde rendrait le cuivre cassant et non malléable.

La métallurgie des cuivres sulfurés est beaucoup plus pénible ; c'est d'ailleurs la plus importante, à cause de l'abondance des minerais.

On procède au grillage du minerai, ce qui élimine une partie du soufre à l'état d'acide sulfureux et oxyde une partie du fer

et du cuivre. On fond ensuite avec du sable et du charbon : l'oxyde de cuivre est réduit par le charbon et l'oxyde de fer forme avec le sable du silicate de fer fusible qui se sépare facilement du reste de la masse ou *matte*, composée de cuivre et de sulfures non encore décomposés.

En répétant plusieurs fois la même opération, on élimine peu à peu tous les sulfures et l'on obtient du cuivre qu'on raffine comme dans la métallurgie du cuivre oxydulé.

Une seconde méthode, plus simple, consiste à griller le minerai, puis à le fondre avec du charbon et du sable. On plonge des barres de fer dans la matière fondue. Le fer réduit les composés cuivreux et met le cuivre en liberté. Le cuivre reste liquide, tandis que les impuretés forment des scories.

Ce cuivre n'est pas parfaitement pur et doit être raffiné pour servir à la fabrication des fils électriques, car la moindre impureté lui fait perdre sa grande conductibilité électrique. Thomas Gilchrist était déjà parvenu à le débarrasser de l'arsenic par une fusion sur un lit de magnésie, mais on est arrivé à de bien meilleurs résultats au moyen de l'affinage électrique, pratiqué dès 1866 par Elkington, en Angleterre. On suspend le cuivre impur dans un bain de sulfate de cuivre, au pôle positif d'une machine dynamo-électrique ; le pôle négatif communique avec une plaque de cuivre pur qui plonge dans la même dissolution. Or, sous l'action du courant, le cuivre va de la plaque positive à la plaque négative, tandis que les impuretés tombent au fond de la cuve. Ces impuretés sont principalement composées de plomb et d'argent, quelquefois même d'un peu d'or. Le cuivre ainsi obtenu est excellent comme conducteur électrique et pour l'estampage. En 1875, la *Norddeutsche Affinerie* de Hambourg a appliqué cette méthode pour extraire l'or et l'argent des cuivres bruts.

Ce procédé donne un cuivre très pur, mais trop poreux et manquant de cohésion. On ne peut le rendre plus tenace par la fusion, car la petite quantité d'oxyde formée lui ferait perdre sa conductibilité électrique. M. Elmore, de Londres, a vaincu cette difficulté en comprimant le cuivre au fur et à mesure de

son dépôt au moyen d'une pierre d'agate. La compression s'effectue mécaniquement au sein du liquide contre la surface d'un cylindre tournant sur lequel le cuivre se dépose. Cette méthode pourrait être utilisée pour augmenter la cohésion de l'argent ou de l'or déposés par la galvanoplastie.

Alliages du cuivre. — Le cuivre entre dans la composition d'un très grand nombre d'alliages; les principaux sont les alliages d'or et d'argent, déjà mentionnés, le bronze et le laiton.

Le bronze ou *airain* est un alliage de cuivre et d'étain, dur, sonore, cassant, dont les propriétés varient beaucoup suivant les proportions des deux métaux ou l'adjonction d'un peu de fer, de plomb, de phosphore, de manganèse, de silicium, etc. Les variétés du bronze sont : le bronze des canons, le bronze des statues, le bronze des cloches, des cymbales, des tam-tams, contenant en outre un peu de fer, de plomb et de zinc ; le bronze des miroirs, qu'une forte proportion d'étain rend très blanc; le bronze des monnaies, formé de 95 parties de cuivre, 4 d'étain et 1 de zinc ; le bronze des coussinets pour machines.

Le *bronze phosphoreux*, d'une dureté extrême, de couleur vive et agréable, moins oxydable que le bronze ordinaire, est employé pour la fabrication des cloches, des machines, des bronzes d'art, des cordes métalliques, des doublages de navires, des fils télégraphiques, des rouleaux d'imprimerie, des bouches à feu, des douilles de cartouches, des fermetures d'armes à feu. Inventé par le docteur Kuntzel, de Dresde, on l'obtient en fondant ensemble du cuivre, du phosphure d'étain et un peu de plomb. Le phosphure d'étain se prépare en chauffant de la poudre d'étain, obtenue par précipitation du bichlorure d'étain par le zinc, avec un peu de phosphore. M. Coignet opère plus simplement en faisant agir des vapeurs de phosphore sur du cuivre chauffé au rouge sombre.

Le *bronze manganésé*, préparé d'abord en Angleterre, est encore supérieur au bronze phosphoreux; le cuivre manganésé, sans adjonction d'étain, a d'ailleurs les mêmes propriétés. Il sert à construire les hélices des navires, les gouvernails, les plan-

ches d'impression, les cloches, les tuyères des hauts fourneaux, etc., etc.

Le *bronze siliceux* a été obtenu en Angleterre en fondant à très haute température, au moyen de l'arc voltaïque, dans un creuset Cowles, du bronze et du sable. Ce métal, aussi bon conducteur que le cuivre pur, offre plus de résistance à la rupture.

Signalons encore le métal *Roma*, bronze phospho-manganésé, dur comme l'acier, malléable à chaud et à froid, non oxydable, et le métal *Delta*, inventé par Dick, en Danemark, alliage de cuivre, de zinc et de fer, d'une belle couleur jaune d'or, non oxydable, excellent pour la serrurerie, la ferronnerie d'art, les hélices, le matériel des chemins de fer, etc. Les torpilles russes sont entièrement fabriquées avec le métal *Delta*.

Quant au laiton, alliage de cuivre, de zinc et d'un peu de plomb, il est jaune d'or, plus dur que le cuivre, très peu oxydable, ductile et malléable, très facile à travailler. Il sert à fabriquer des ustensiles de ménage, des cordes métalliques, des boutons de porte, des épingles, etc.

Il existe plusieurs variétés de laiton : le laiton rouge ou *tombac* (cuivre, zinc, arsenic et étain), le *similor* (cuivre, zinc, étain et plomb), le *chrysocale* (cuivre, zinc et étain), le *laiton blanc* (cuivre, zinc, fer), le *maillechort* (cuivre, zinc, nickel, fer) qui, sous le nom d'*alfénide*, sert à fabriquer des couverts et autres ustensiles de ménage, la *poudre à bronzer* le plâtre (cuivre et zinc), également employée en peinture et en imprimerie.

Statistique. — Les principaux pays producteurs des minerais de cuivre sont : les États-Unis, le Chili, l'Allemagne, l'Espagne, le Portugal et l'Australie.

Les mines du Lac Supérieur, aux États-Unis, fournissent le quart de la production du globe ; le cuivre abonde d'ailleurs sur toute la côte Ouest des États-Unis. Les gisements du Lac Supérieur s'étendent jusque dans le Canada.

On exploite de grandes quantités de minerais de cuivre dans le Chili, surtout à Copiapo, dans la montagne de Tamaya.

Toute l'Amérique est riche en cuivre ; l'on signale des gisements considérables de ce métal au Mexique, à Cuba, au Vé-

nézuéla, dans la Bolivie, dans la Confédération Argentine.

Les mines de l'Australie commencent déjà à s'épuiser. On a découvert du cuivre à la Nouvelle-Calédonie, dans la région du Diahot.

L'Asie et l'Afrique fournissent très peu de cuivre ; signalons quelques gisements au Cap, au Congo, en Algérie et au Japon.

L'Europe vient immédiatement après l'Amérique comme importance dans la production des minerais de cuivre. Les mines d'Espagne et de Portugal étaient déjà célèbres du temps des Romains. On exploite actuellement le cuivre, en Espagne, dans les mines de Rio-Tinto, de Tharsis, de Zarza, de Calanas, etc. ; à citer aussi celles de Domingos, dans le Portugal.

Les mines de la Prusse sont situées dans le Hartz, à Stadtberg en Westphalie, dans le Hanovre, le Nassau et la Hesse. Signalons encore les mines de la Hongrie, de la Suède, de la Norvège, de l'Italie, de la Russie où le cuivre abonde dans la partie orientale.

L'Angleterre et la France ne se donnent plus la peine d'exploiter leurs mines de cuivre et se contentent de traiter les minerais des autres pays. L'Angleterre possède cependant de riches mines dans le Cornwall et le Devonshire. La France ne manque pas non plus de cuivre, mais on ne l'exploite qu'à La Prugne, dans d'Allier. Les mines de Chessy et de Saimbel près de Lyon, celles du Var, des Alpes-Maritimes, de l'Hérault, des Hautes-Alpes, de la Savoie, de la Loire, des Basses-Pyrénées, sont abandonnées. La Corse possède des gisements dignes d'être exploités.

De vastes usines, fondées en Espagne, en Portugal, en Angleterre, en France, en Allemagne, aux États-Unis, etc., accaparent tous les minerais des pays producteurs pour en extraire le cuivre. En 1890, le total de la production dans le monde entier s'est élevé à 278 000 tonnes :

	Tonnes.
Amérique du Nord	125.000
Europe	86.000
Australie	75.000
Amérique du Sud	32.500
Asie	20.000
Afrique	6.570

L'Espagne et le Portugal tiennent la tête en Europe, avec 53000 tonnes. La France n'a produit que 1000 tonnes de cuivre.

III. — PLOMB.

Le plomb, connu depuis une très haute antiquité, est cependant plus récent que l'or, l'argent, le cuivre et le bronze. Les anciens en faisaient des tuyaux, des couvertures pour monuments ; ils écrivaient sur des feuilles très minces de ce métal. On lui a généralement substitué des feuilles de zinc pour les couvertures, à cause de son poids trop considérable.

Le plomb est très mou et facilement rayable avec l'ongle ; il fond à une température relativement basse, à 350°. On peut le laminer, mais non l'étirer en fils. L'air humide l'attaque, seulement à sa surface. Il faut éviter de faire circuler les eaux de pluie dans des tuyaux de plomb, cette eau se chargeant de principes vénéneux ; le même inconvénient n'existe pas avec les eaux de source ou de rivière. Les tuyaux de plomb se fabriquent comme du macaroni, en comprimant le métal dans un cylindre en acier chauffé et percé d'une ouverture annulaire à la partie inférieure. On obtient, par le même procédé, des fils inaltérables et mous, employés comme liens.

Combiné à une très faible proportion d'arsenic, le plomb sert à fabriquer des balles et du *plomb de chasse*. Les balles s'obtiennent en coulant le métal dans des moules. Quant aux grains de plomb, il existe deux procédés de préparation. On verse le plomb fondu dans une turbine dont les parois latérales sont percées de trous : sous l'action de la force centrifuge, le métal s'échappe sous forme de gouttelettes qui se solidifient au contact d'un courant d'air froid et qui sont arrêtées par des toiles entourant la turbine.

Le second procédé, plus ancien, consiste à verser le plomb fondu dans une chaudière à fond percé de petites ouvertures et contenant déjà une couche d'oxyde de plomb. Le métal liquide filtre à travers la couche d'oxyde, coule goutte à goutte, et tombe, au bas d'une tour élevée, dans une cuve contenant de

l'eau chargée de sulfure de sodium. La chaudière est placée au sommet de la tour. En tombant, les gouttes de plomb se solidifient et les grains se recouvrent d'une pellicule de sulfure au contact du sulfure de sodium de l'eau de la cuve. On finit de les arrondir et de les lisser en les faisant tourner dans un tonneau contenant de la plombagine.

Le plomb donne des composés très utiles dans l'industrie. Par calcination à l'air, on obtient une poudre, le *massicot* ; cette poudre, une fois fondue, se transforme par refroidissement en paillettes, la *litharge*. La litharge sert dans la fabrication du cristal, pour le vernissage des poteries, dans la peinture sur verre et sur porcelaine ; en solution dans la soude caustique, on en fait une liqueur pour noircir les cheveux et la corne. En suroxydant la litharge par calcination à l'air, on obtient le *minium*, de couleur rouge, utilisé dans la peinture à l'huile et à l'aquarelle, pour colorer la cire à cacheter, pour l'impression des papiers peints ; on s'en sert encore dans la fabrication du cristal, pour le vernissage des poteries, pour émailler les faïences, pour préparer des mastics.

L'*oxychlorure de plomb*, désigné sous les noms de *jaune de Vérone*, *de Cassel*, *de Paris*, est employé dans la peinture.

Le *carbonate de plomb* ou *céruse*, connu en peinture sous le nom de *blanc d'argent*, sert également à la préparation des vernis et des mastics. Son importance industrielle est considérable ; la France en fabrique une dizaine de millions de kilogrammes chaque année. Deux procédés sont employés pour cette fabrication. Le procédé français, dit de *Clichy*, consiste à dissoudre la litharge dans du vinaigre de bois, puis à traiter par un courant d'acide carbonique qui précipite la céruse. Le vinaigre est régénéré et peut servir à une nouvelle opération. Dans le procédé *hollandais*, on enterre sous du fumier des pots contenant des feuilles de plomb enroulées en spirales et du vinaigre, ce dernier occupant la partie inférieure, sous les feuilles de plomb. L'air oxyde le plomb et l'acide carbonique que dégage le fumier produit la céruse. On opère plus rapidement en mettant le plomb et le vinaigre dans une chambre chauffée, et en faisant

arriver un courant d'acide carbonique, comme cela se pratique en Allemagne.

Le *sulfate de plomb* sert dans la fabrication des papiers peints, du papier vélin et pour recouvrir les cartes dites *porcelaines*.

L'*azotate de plomb* entre dans la préparation des allumettes chimiques ; il facilite la combustion des mèches et de l'amadou.

L'*acétate de plomb* est employé en médecine.

Métallurgie. — Le sulfure de plomb ou *galène*, toujours plus ou moins argentifère, constitue le seul minerai employé pour la métallurgie du plomb. Plusieurs procédés permettent d'isoler le plomb.

1° On porte au rouge, dans un four, un mélange de galène, de houille et de grenaille de fonte. Il se forme deux couches liquides : l'une de plomb, l'autre de sulfure de fer ayant entraîné un peu de plomb et la majeure partie de l'argent. Ce procédé a l'inconvénient de perdre l'argent et n'est employé que si la galène est très peu argentifère.

2° On chauffe, à température assez peu élevée, la galène dans un four catalan : le plomb est mis en liberté. Cette méthode si simple est fort peu usitée ; elle dégage des vapeurs de plomb très nuisibles pour la santé des ouvriers.

3° On calcine la galène sur la sole d'un four à réverbère, dans un courant d'air. Au bout de douze à quinze heures, quand le grillage est terminé, on ferme les portes donnant accès à l'air : la température s'élève et produit des réactions qui mettent le plomb en liberté. Cette dernière méthode est la plus employée et la plus avantageuse.

Le plomb, obtenu par ces méthodes, renferme plusieurs métaux étrangers. Pour le raffiner, on fond dans un courant d'air : les métaux étrangers, sauf l'argent, s'oxydent et forment une crasse qu'on enlève au fur et à mesure. Ces crasses renferment une forte proportion d'oxyde de plomb ; on les réduit par le charbon et le métal sert à la fabrication des caractères d'imprimerie.

Nous avons vu, à propos de l'argent, comment on retire l'argent du plomb.

On commence à pratiquer l'affinage du plomb brut par la méthode électrique, analogue à celle employée pour l'affinage du cuivre. Le plomb brut est coulé en plaques et enfermé dans des sacs en toile; on le met en communication avec le pôle positif d'une machine dynamo à courants continus. On plonge le sac dans un bain composé d'une dissolution de sulfate de plomb dans de l'acétate de soude. Une seconde lame de plomb pur, également plongée dans le bain, communique avec le pôle négatif de la machine dynamo. Sous l'action du courant, le plomb des sacs va se déposer sur la lame de plomb pur, tandis que le fer et le zinc qui le souillaient se déposent dans le bain ou s'y dissolvent. Quant à l'or, à l'argent, à l'arsenic, à l'antimoine, ils restent dans le sac à l'état de poudre. Cette poudre est fondue avec du borax et de l'azotate de soude, puis traitée par l'eau bouillante ; l'or et l'argent restent comme résidu. Nous avons déjà vu comment on isole l'or de l'argent, par un traitement à l'acide sulfurique.

Alliages. — Les alliages du plomb sont rares. Combiné à l'étain, il constitue la soudure des plombiers et sert à fabriquer les tuyaux d'orgue ; combiné à l'étain et à l'antimoine, on en fait des caractères d'imprimerie, des clous pour les navires, etc.

Statistique. — Les minerais de plomb proviennent en majeure partie de l'Espagne, de l'Allemagne et de l'Autriche ; ces pays en fournissent à eux seuls la presque totalité. On évalue à un peu plus d'un million de tonnes la quantité de minerai extrait dans le monde entier chaque année. Voici quelques chiffres :

	Tonnes.
Espagne	540.000
Allemagne	180.000
Autriche-Hongrie	100.000
Russie	38.000
Italie	35.000
France	20.000
Grèce	15.000

Quant au métal lui-même, sa production annuelle est de 630 000 tonnes :

	Tonnes.
Espagne	235.000
États-Unis	164.000

	Tonnes.
Allemagne	100.000
Angleterre	48.000
Australie	21.000

Les principales exploitations de la galène, en Europe, sont situées en Espagne, en France, en Angleterre, en Belgique, en Prusse, en Autriche-Hongrie, en Italie, en Grèce et en Russie.

L'Espagne tient le premier rang en Europe, avec ses mines de Linarès, dans la province de Jaen, et celles des provinces d'Alméria et de Murcie. Plusieurs de ces mines furent exploitées par les Romains, qui savaient déjà extraire l'argent de la galène par la méthode de la coupellation, retrouvée de nos jours par Pattinson.

La France tire très peu parti de ses mines de plomb, cependant nombreuses. Les seules en exploitation sont celles de Pontgibaud, dans le Puy-de-Dôme, de Milhau et de Villefranche dans l'Aveyron, de Vialas et de Villefort dans la Lozère, de Pontpéan dans l'Ille-et-Vilaine. Les célèbres mines de Poullaouën et de Huelgoat, dans le Finistère, demeurent dans l'abandon. Il en est de même des mines de Pesey et de Mâcot en Savoie, de la Grave dans l'Isère, d'Argentières près Briançon (dans les Hautes-Alpes), de Carnoulès dans le Gard, de Seintein dans l'Ariège, des Vosges, etc. Plusieurs de ces mines furent exploitées par les Gallo-Romains. En 1889, la France a seulement extrait 19 400 tonnes de minerais de plomb, d'une valeur de 4 200 000 francs. Ses usines (Pontgibaud dans le Puy-de-Dôme, le Couëron dans la Loire-Inférieure, Biache-Saint-Vaast dans le Pas-de-Calais, Les Martigues dans les Bouches-du-Rhône), ont seulement produit 6500 tonnes de plomb. Une grande partie du minerai est même exportée à l'étranger.

La galène abonde en Angleterre, surtout dans le Durham et le Northumberland. Citons encore les mines du Bleyberg, à Montzen, près Verviers (Belgique), du Bleyberg (Prusse Rhénane et Nassau), de Przibram (Bohême), de la Hongrie, de la Toscane et de la Sardaigne (Italie), du Laurium (Grèce), où l'on exploite les scories laissées par les anciens Grecs ; de la Russie.

Les mines de Laurium furent jadis d'une importance considérable ; on y comptait plus de 2000 puits et galeries souterraines. Certaines de ces galeries avaient jusqu'à 120 mètres de profondeur, travail remarquable pour l'antiquité.

L'Algérie possède des mines importantes de galène : à Kef-oum-Thiboul, près La Calle, à Cavallo, dans la province de Constantine, à Gar-Rouban, dans la province d'Oran. Citons aussi le gisement de Djebillet-el-Kohal, en Tunisie. En 1889, on a extrait 658 tonnes de minerai en Algérie.

En Asie, bornons-nous à signaler les mines du Japon, celles de Kouribara principalement.

La galène abonde en Amérique : aux États-Unis, dans le Haut-Mississipi, au Mexique, à Mina Grande, près Coquimbo (Chili). Le minerai de Mina Grande contient du vanadium.

Signalons enfin les mines de l'Autriche et quelques gisements trouvés récemment dans la Nouvelle-Calédonie.

IV. — ÉTAIN.

L'étain fut connu fort peu de temps après le cuivre, car le bronze succéda presque immédiatement au cuivre pur dans la fabrication des armes et autres objets en métal. Les minerais d'étain sont aussi facilement réductibles que ceux de cuivre.

Les anciens retiraient l'étain des mines d'Angleterre et d'Espagne, successivement exploitées par les Phéniciens, les Carthaginois et les Romains. On découvrit ensuite les gisements de la Saxe et de la Bohême au XIIIe siècle, ceux du Mexique, de Malacca et des îles de la Sonde au XVIe siècle.

L'étain est un métal blanc, se ternissant à l'air, mais seulement à la surface, malléable et se transformant facilement en feuilles, peu ductile et donnant des fils sans résistance. Il fond facilement, à 235° ; c'est un des plus fusibles des métaux usuels.

Les usages de l'étain sont nombreux. Les anciens en fabriquaient des statuettes et de la vaisselle. Au moyen âge, on en fit de l'orfèvrerie religieuse ; on employa beaucoup la poterie d'étain pendant les XIVe et XVe siècles.

L'étain en feuilles sert à envelopper le chocolat, le savon, à garnir les boîtes et coffrets. On obtient ces feuilles par deux procédés : en martelant de l'étain entre deux feuilles d'étain plus épaisses ; en coulant de l'étain fondu sur un cylindre de bois, ce qui donne une feuille qu'on passe ensuite au laminoir. Les enveloppes de tabac, les capsules pour bouteilles, se fabriquent avec des feuilles plus économiques (feuilles de plomb recouvertes d'une mince couche d'étain).

Pour argenter le papier et imprimer sur tissus, on fait usage de poudre d'étain qu'on brunit pour lui donner de l'éclat. Cette poudre se prépare en plongeant une lame de zinc dans une dissolution d'un sel d'étain, ou encore en agitant vivement de l'étain fondu dans une boîte de bois saupoudrée de craie. La poudre d'étain se nomme *argentine*. En Allemagne, on étame les étoffes en appliquant sur le tissu une pâte de poudre de zinc et de blanc d'œuf, chauffant avec de la vapeur surchauffée, puis trempant dans une solution de bichlorure d'étain. Il ne reste plus qu'à cylindrer pour donner de l'éclat à l'étain précipité. L'étain sert surtout à la fabrication du *fer-blanc*, et aussi à étamer le cuivre et le zinc, à faire des alliages. Le fer-blanc, préparé exclusivement en Allemagne pendant de longues années, se fabriqua en France, à Strasbourg, à partir de 1715.

Les combinaisons stannifères les plus utiles sont : l'*acide stannique* ou *potée d'étain*, servant à colorer l'émail en blanc et à polir le verre, le marbre, etc. ; les *stannates de potasse et de soude*, employés dans la teinture ; le *stannate de chrome et de chaux* ou *pinck-colour*, colorant la faïence en rouge sang ; une autre combinaison d'acide stannique et de chrome, de couleur lilas, utilisée en peinture et pour décorer la faïence ; les *chlorures d'étain*, employés en teinture ; le *bisulfure d'étain* ou *or mussif*, imitant la dorure ; le *pourpre de Cassius*, pour colorer le verre en rubis et peindre sur porcelaine.

Métallurgie. — Le seul minerai d'étain est un oxyde, nommé *cassitérite*. Impur et toujours mélangé d'une grande quantité de matières étrangères, il faut l'enrichir par bocardage et lavages multipliés.

Après grillage pour éliminer le soufre et l'arsenic (il se trouve toujours dans la cassitérite un peu de sulfure d'étain et de la pyrite de fer arsenicale), on réduit l'oxyde d'étain par le charbon dans un four à réverbère ou à manche. L'étain fondu est recueilli dans un creuset et agité avec du bois vert. Les gaz, résultant de la décomposition du bois par la chaleur, amènent les scories à la surface et réduisent l'oxyde d'étain formé au contact de l'air.

Pour raffiner ce métal, on le fond en présence d'un faible courant d'air qui oxyde les métaux étrangers avec un peu d'étain. On peut aussi opérer par liquation : le métal est chauffé jusqu'à 230° ; l'étain pur entre en fusion et les alliages étrangers restent sur la sole inclinée du four.

Alliages. — Nous connaissons déjà les différentes variétés de bronze, alliages d'étain et de cuivre.

Les poteries, les ustensiles de ménage, les tubes pour eau de Seltz, les comptoirs de marchands de vin, la soudure des plombiers, sont fabriqués avec un alliage de plomb et d'étain.

L'*argent battu* est un alliage d'étain et de zinc, que les Chinois recouvrent d'un vernis imitant parfaitement l'or.

Les cuillers d'étain sont constituées par un alliage d'étain, de cuivre, d'antimoine et de bismuth.

Le *métal anglais* est un alliage d'étain, d'antimoine, de cuivre et de zinc.

L'amalgame d'étain (mercure et étain) servait jadis à étamer les glaces pour la fabrication des miroirs.

Statistique. — En 1889, on évaluait la production totale des minerais d'étain à 56 000 tonnes :

	Tonnes.
Malaisie	28.000
Angleterre	9.240
Australie et Tasmanie	9.000

Quant à la production du métal, elle s'élevait à 35 000 tonnes :

	Tonnes.
Hollande	18.000
Angleterre	10.370
Australie	5.000

La Hollande traite les minerais de ses possessions de la Malaisie. Les exploitations d'étain datent d'une très haute antiquité dans les Indes Néerlandaises (îles de Banca, de Birliton, archipel de Riouv-Lingga, territoire de Siak), à Sumatra et dans la presqu'île de Malacca.

Les mines anglaises se trouvent dans le Cornwall et le Devonshire. En Australie, on exploite, sans avoir encore pu retrouver les filons, des sables d'alluvion, noirs et stannifères, dans la province de Victoria et dans la Nouvelle-Galles du Sud.

En France, citons les mines d'étain de Montebras et de Vaulry, dans la Haute-Vienne; les alluvions stannifères et aurifères qu'on rencontre dans maintes vallées de ce département; les mines abandonnées de Piriac et de Villeder, dans la Bretagne, situées probablement sur le prolongement des filons de l'Angleterre.

Signalons encore, en Europe, les mines de l'Erzgebirge (Saxe et Bohême), celles de Ribadavia et de Tras-os-Montes (Espagne).

On signale un peu d'étain en Russie et au Japon. Quant à l'Amérique, on exploite quelques gisements aux États-Unis (Missouri et Orégon), au Mexique et en Bolivie.

V. — ZINC.

Le zinc était déjà connu des anciens : on a trouvé à Pompéi une lame de zinc qui recouvrait une fontaine. Jusqu'au XVIIe siècle, l'Europe tirait ce métal de l'Orient, ne sachant pas l'obtenir elle-même. On exploitait cependant ses deux minerais, la *blende* (sulfure de zinc) et la *calamine* (carbonate de zinc). La calamine servait depuis très longtemps à la fabrication du *laiton*, alliage de cuivre et de zinc, connu depuis la plus haute antiquité. La volatilité du zinc empêchait les métallurgistes européens d'isoler le métal. Quand on chauffait la calamine avec du charbon, le zinc était bien réduit et mis en liberté, mais ses vapeurs sortaient du creuset et celui-ci ne contenait plus rien à la fin de l'opération. En 1780, à Liège,

l'abbé Dony, soupçonnant la vérité, parvint à extraire le zinc des minerais de la Vieille-Montagne. Ayant placé un pot à fleur renversé au-dessus du creuset, il vit le métal venir s'y condenser. Il fonda la première usine à zinc dans la ville de Liège, en Belgique. D'autres historiens attribuent cette même découverte à Henckel, en 1721, pour la calamine, et à Sanderson, en 1780, pour la blende.

Le zinc est un métal blanc bleuâtre, doué d'un vif éclat, mais se ternissant très vite à l'air, à la surface seulement. Il devient malléable et ductile quand on le chauffe vers 150° et peut alors se réduire en lames et s'étirer en fils. Une température plus basse ou plus élevée le rend au contraire cassant. Il fond à 450° et bout vers 1300° Les propriétés toxiques de ses sels ne permettent pas de l'employer pour fabriquer les ustensiles de cuisine. On peut l'utiliser sans inconvénient pour la fabrication des vases destinés à contenir de l'eau (brocs, seaux, arrosoirs, bains de siège et baignoires, réservoirs, etc.).

Les feuilles de zinc sont employées pour toitures, girouettes, canalisations d'eaux pluviales, etc. Son emploi est très délicat, car le zinc se dilate beaucoup et il faut employer des jointures mobiles pour éviter les déformations. Ce travail exige des ouvriers très habiles, qu'on trouve seulement dans les grandes villes. Le zinc a aussi le grand inconvénient de s'oxyder au contact du fer.

Le zinc sert encore à fabriquer des ornements et des objets d'art (pendules, statuettes, etc.), à doubler les navires, à satiner le papier, à construire les piles, les enveloppes des projectiles pour ménager les rayures des armes à feu, à la galvanisation du fer, inventée en 1836 par Sorel, à préparer le *blanc de zinc*, à fabriquer des cribles et des tamis, etc., etc.

Les sels de zinc les plus employés sont : l'*oxyde* ou *blanc de zinc*, obtenu par combustion du zinc, servant en peinture et ne noircissant pas sous l'action de l'hydrogène sulfuré comme la céruse ; le *chlorure de zinc*, utilisé en médecine comme caustique, pour injecter les cadavres et les traverses de chemin de fer ; le *sulfure de zinc*, employé en peinture sous le nom de *blanc me-*

tallique en mélange avec du sulfate de baryte ; le *sulfate de zinc*, utilisé dans l'impression des indiennes, pour rendre les huiles siccatives et en médecine pour les maladies d'yeux ; le *chromate* ou *jaune de zinc*, employé dans la peinture.

Métallurgie. — Les seuls minerais de zinc sont la *blende* (sulfure de zinc) et la *calamine* (carbonate de zinc). Les filons, composés de calamine au voisinage du sol, se transforment en blende à de plus grandes profondeurs. On n'exploitait d'abord que la calamine, mais l'épuisement des filons à la surface a mis les métallurgistes dans la nécessité d'extraire la blende à son tour.

Ces deux minerais subissent une calcination préalable pour les transformer en oxyde de zinc ; la température doit être plus élevée pour la blende, qui se transformerait, sans cette précaution, en sulfate de zinc, non en oxyde.

En chauffant un mélange d'oxyde de zinc et de houille, on met le zinc en liberté et ses vapeurs viennent se condenser dans un récipient refroidi. Ce métal est impur et contient du plomb. On le raffine par liquation. On le maintient longtemps fondu à une température un peu supérieure à son point de solidification ; le plomb se solidifie et tombe au fond du zinc resté liquide. Pour priver le zinc de son arsenic, on le fond avec un peu de salpêtre.

MM. Blas et Miest ont imaginé une méthode électrique nouvelle pour extraire le zinc de la blende. La blende est broyée et agglomérée par la chaleur et une forte compression, de manière à obtenir une plaque qu'on suspend comme électrode positive dans un bain de sulfate de zinc ; l'électrode négative est constituée par une lame de zinc. Sous l'action du courant, le zinc de la blende se dépose sur la lame de l'électrode négative.

Alliages. — Le zinc, allié au cuivre, donne le *laiton*, appelé aussi *similor* ou *tombac*. On l'allie en très faible proportion à l'argent et au cuivre dans les monnaies divisionnaires d'argent, dans le but de rendre l'argent plus blanc et plus inaltérable.

Statistique. — En 1889, il a été extrait dans le monde 1 123 000 tonnes de minerais de zinc :

	Tonnes.
Prusse et Belgique	708.000
Italie	87.000

	Tonnes.
Espagne	74.000
Norvège	50.000
Suède	36.000
Grèce	43.000

Manquent les États-Unis, avec un chiffre d'extraction assez considérable. Quant au métal lui-même, la production a été de 349 000 tonnes :

	Tonnes.
Prusse	136.000
Belgique	82.500
États-Unis	51.000
Hollande	29.000
Angleterre	19.500
France	18.000

Les deux grands producteurs de zinc sont la Prusse et la Belgique. Les gisements les plus importants de la Prusse se trouvent situés dans la Westphalie et dans la Haute-Silésie, près de Tarnowitz. Citons encore les filons de Laulenthal dans le Hartz, de Stolberg près d'Aix-la-Chapelle, ceux du Nassau, de la vallée de la Lahn.

Le célèbre gisement de la Vieille-Montagne est situé à Moresnet, entre la Belgique et la Prusse. La Belgique exploite aussi du minerai de zinc à Engis et à Corphalie, près de Liège.

Les filons de la Haute-Silésie se prolongent jusqu'en Russie, où l'on exploite six mines de zinc.

La calamine abonde en Sardaigne et en Espagne, à Santander et dans les provinces méridionales (Murcie, Grenade, Malaga et Alméria).

L'Angleterre exploite des filons dans l'île de Man et dans onze comtés, surtout dans le Denbigshire, le Flintshire, le Cornwall et à Tipperary, en Irlande.

En 1889, la France a extrait 20 700 tonnes de minerai de zinc, de ses cinq mines en activité : Saint-Laurent-le-Minier (Gard), Pallières (Hérault), Châtillon-en-Diois et Menglon (Drôme). Il existe des filons inexploités dans l'Ardèche, les Bas ses-Pyrénées, les Hautes-Pyrénées, l'Ariège, le Lot et le Var. Cette même année, l'Algérie a fourni 8500 tonnes de blende et de calamine, des filons de Sakamody et de Guerrouma.

CHAPITRE IV

MÉTAUX PEU USUELS

I. — ALUMINIUM.

L'aluminium est un métal de découverte moderne ; isolé pour la première fois par Wölher en 1827, après des tentatives infructueuses de Davy, de Berzélius et d'Œrsted, il ne devint industriel qu'en 1854, grâce aux travaux de Henri Sainte-Claire Deville.

Ses propriétés en font un métal remarquable : presque aussi blanc que l'argent, très sonore, malléable comme l'or et l'argent, fusible à une température relativement peu élevée, à 700° seulement, faible densité, grande résistance à la rupture, inaltérabilité à l'air. Toutes ces qualités le mettent au rang des métaux précieux. Il se substituera au cuivre et au fer quand on sera parvenu à l'obtenir à très bas prix, ce qui ne peut tarder. Le xxe siècle sera très probablement le siècle de l'aluminium et de l'acier. Il ne peut se souder sur lui-même comme le fer, quand on le chauffe.

Les usages de l'aluminium vont chaque jour augmentant; la facilité avec laquelle on peut le travailler au marteau, le couler, le ciseler, son inaltérabilité à l'air le font employer pour la fabrication des objets de bijouterie et l'ornementation des objets de marqueterie et des meubles de luxe. Il sert à fabriquer des instruments de physique, de chirurgie, de sellerie, etc. Son innocuité parfaite le rend excellent pour la fabrication des

ustensiles de ménage et de cuisine. Tout récemment, on l'a utilisé pour construire des embarcations démontables, destinées à la navigation sur rivières, pour couvrir des monuments publics. M. Charpentier-Page, de Valdoie (territoire de Belfort), en a fait des cartes de visite. La poudre d'aluminium peut remplacer le magnésium pour l'éclairage photographique. On emploie un mélange d'aluminium, de lycopode et de nitrate d'ammoniaque, ou encore d'aluminium, de chlorate de potasse et de sucre.

L'aluminium forme des composés d'une importance considérable : l'*oxyde anhydre* constituant le corindon, le saphir, le rubis, la topaze, l'émeri ; l'*oxyde hydraté* ou *alumine gélatineuse* servant à préparer les laques colorées ; l'*aluminate de soude* utilisé dans la teinture, l'impression des tissus, la préparation des laques, le collage de la pâte à papier, le durcissement des pierres ; le *sulfate d'alumine* usité dans la teinture et pour encoller le papier ; les *aluns* de potasse, de soude, d'ammoniaque. de chrome, utilisés dans la teinture et l'impression des tissus, pour préparer les laques destinées aux papiers peints, dans le collage du papier, pour clarifier le suif et durcir le plâtre, pour clarifier les eaux troubles, pour divers usages médicinaux ; le *silicate d'alumine* constituant les *argiles*, dont nous reparlerons plus loin d'une manière détaillée.

Minerais d'aluminium. — Les minerais d'aluminium abondent et forment l'une des parties principales de l'écorce terrestre.

L'*alumine* est très rare ; on vient cependant de découvrir un gisement considérable de corindon dans la Géorgie, en Amérique. Le *kaolin*, argile pure, constitue des dépôts peu abondants, mais les argiles communes entrent pour la moitié dans la composition des sédiments du globe. La *cryolithe*, chlorure double d'aluminium et de sodium, a été découverte à Ivigtut, au Groenland, et dans l'Oural. La *bauxite*, variété d'hydrate d'alumine, fut signalée par Berthier, en 1821, aux Baux, près de Tarascon (Bouches-du-Rhône). Elle s'étend sur une zone de 150 kilomètres de longueur, depuis Tarascon jusqu'à Antibes ; on l'exploite sur plusieurs points, notamment dans le Var. On a également découvert de la bauxite au Sénégal, en Irlande, en

Autriche, en Italie, dans la Calabre. L'*alunite*, sulfate double d'alumine et de potasse, se trouve en Italie, en Syrie, en Hongrie, en France (pic de Sancy, dans les monts Dores); une simple calcination le transforme en alun, dit *de Rome*. Les *schistes alumineux*, abondants en Angleterre, en Allemagne, en Belgique, en Suède, en Norvège, en France (départements de l'Oise, de la Somme et des Ardennes), servent aussi à la fabrication de l'alun.

Métallurgie de l'aluminium. — Dès 1856, M. Péchiney entreprit, dans son usine de Salindres (Gard), la fabrication industrielle de l'aluminium par la méthode de Deville. La bauxite, calcinée avec du carbonate de soude, se transformait en aluminate de soude : on dissolvait le produit ainsi obtenu dans l'eau, puis on le convertissait en alumine par un courant d'acide carbonique. Cette alumine, chauffée avec du charbon, du chlore et du sel marin, donnait du chlorure double d'aluminium et de sodium, sel que l'on réduisait par le sodium pour isoler l'aluminium. Quelques perfectionnements de détail avaient seuls été réalisés, quand, vers 1885, de nouvelles méthodes électriques vinrent entièrement transformer cette industrie : M. Adolphe Minet électrolysa un mélange de sel marin et de cryolithe, fondu à 1000°; MM. Héroult et Kiliani créèrent des usines à Neuhausen, utilisant là une chute du Rhin, à Froges dans le département de l'Isère, et en Angleterre, usines où ils électrolysèrent de l'alumine dissoute dans de la cryolithe en fusion. Grâce à ces méthodes nouvelles, la quantité d'aluminium produite augmenta considérablement et les prix diminuèrent beaucoup : en 1887, l'usine de Salindres produisait 2000 kilos d'aluminium par an; en 1890, l'usine de Neuhausen obtenait 1000 kilos par jour et celle de Froges 600 kilos.

Alliages. — Le bronze d'aluminium, formé de 5 à 10 centièmes d'aluminium et de 85 à 90 centièmes de cuivre, possède une belle couleur d'or, inaltérable. On s'en sert pour fabriquer des chaînes, des vases sacrés et des ornements d'église, des objets d'art, des coussinets pour machines à vapeur, des ressorts de montre, des navettes de tisserand, des instruments de physique.

Cet alliage était jadis fabriqué exclusivement à Salindres, en France, et à Newcastle en Angleterre. MM. Cowles, aux États-Unis, en produisent actuellement 1600 kilos par jour dans leur usine de Stoke-on-Trent, à l'aide d'une méthode électrique exigeant une dynamo de 6000 ampères. Ils font passer le courant, pendant cinq heures, à travers un creuset rempli de charbon, de cuivre granulé et de corindon de Géorgie : sous l'action du courant, l'aluminium est mis en liberté et s'allie avec le cuivre. L'alliage, jadis du prix de 140 francs le kilogramme, ne vaut plus actuellement que le dixième de cette somme. La nouvelle méthode électrique a été inaugurée en 1880 par Siemens, dans son usine de Woolwich (Angleterre). Le creuset, entouré de charbon de bois pulvérisé pour empêcher la déperdition de la chaleur, est traversé à la base par une barre de fer ou de platine qui communique avec le pôle positif de la machine électrique ; le couvercle est lui-même traversé par une tige de charbon des cornues communiquant avec le pôle négatif. Le passage du courant, à travers les matières contenues dans le creuset, porte ces matières à une température très élevée.

L'aluminium forme encore d'autres alliages fort intéressants : le métal *hercule*, alliage d'aluminium et de zinc, donne des moulages parfaits; le laiton d'aluminium (aluminium, cuivre et zinc) possède une grande résistance; ajouté à la fonte, l'aluminium permet de couler ce métal sans gerçures ni piqûres, comme l'acier ; le titane rend l'aluminium aussi dur que l'acier, donnant un alliage de très grand avenir. Signalons enfin la combinaison du nickel avec le bronze d'aluminium.

Statistique. — Le nombre des usines d'aluminium est encore peu considérable; il en existe seulement en Angleterre, aux États-Unis, en Suisse et en France (Salindres dans le Gard, Nanterre dans la Seine, Creil dans l'Oise, Froges et Champ dans l'Isère). En 1889, la production de l'aluminium pour la France ne s'élevait encore qu'à 4155 kilogrammes, d'une valeur de 385 000 francs.

II. — MERCURE.

Le mercure, connu depuis la plus haute antiquité, se rencontre à l'état natif, sous la forme de petits globules ayant attiré la curiosité des premiers hommes. Son minerai, le *cinabre* ou sulfure de mercure, est facilement réductible par la chaleur seule. On exploitait déjà les célèbres mines d'Almaden, en Espagne, plusieurs siècles avant l'ère chrétienne.

Seul métal liquide à la température ordinaire, il bout à 350° ; ses vapeurs sont fortement toxiques. D'un blanc grisâtre, il n'est pas altéré sensiblement par l'air.

Ses usages sont assez restreints : construction des baromètres et des thermomètres, préparations pharmaceutiques. Ses alliages, dits *amalgames*, sont bien plus utilisés ; c'est ainsi qu'ils servent à la dorure et l'argenture, à l'étamage du verre, au plombage des dents (amalgame de cuivre, obtenu en triturant du mercure avec de la poudre de cuivre et de l'eau), à l'extraction de l'or et de l'argent, à l'argenture des globes de verre (amalgame de bismuth).

Parmi ses composés, citons l'*oxyde de mercure*, entrant dans la composition des pommades et des onguents pharmaceutiques, le *fulminate de mercure* pour amorces d'armes à feu, le sulfure de mercure naturel ou *cinabre*, le sulfure de mercure artificiel ou *vermillon*, utilisés tous les deux pour la peinture en rouge, le protochlorure ou *calomel*, purgatif, le bichlorure ou *sublimé corrosif*, très vénéneux, excellent antiseptique, l'*iodure de mercure*, également antiseptique.

Métallurgie. — Il suffit de griller le cinabre à l'air ; le soufre se transforme en acide sulfureux et le mercure distille. Les vapeurs de mercure se condensent dans un vase refroidi.

Dans le cas d'un minerai très pauvre, on ajoute de la chaux pour faciliter la réduction.

Statistique. — Les principaux pays producteurs de cinabre sont (année 1889) :

	Kilos.
Espagne	1.887.000
Autriche-Hongrie	551.000

	Kilos.
Italie	244.000
Russie	160.000
États-Unis	1.145.000
Mexique	350.000
Autres pays	160.000

Ces diverses contrées produisent aussi le plus de mercure ; en 1884, la production s'élevait à 3292 tonnes.

Les mines d'Almaden, en Espagne, creusées dans trois filons voisins, sont les plus importantes du monde.

Malgré des galeries très bien aérées, les poussières de cinabre empoisonnent les ouvriers, incapables de travailler plus d'une semaine chaque mois, pendant quatre à cinq heures par jour, d'où des frais énormes d'exploitation, élevant considérablement le prix du mercure. On a calculé que, de 1564 à 1875, les mines d'Almaden avaient fourni 120 000 tonnes de mercure, d'une valeur d'un milliard et demi de francs. L'Espagne possède également une mine de mercure à Mierès, dans la province d'Oviédo.

Les mines d'Idria, dans la Carniole (Autriche), sont également très renommées. Elles étaient jadis exploitées par des condamnés à mort qui périssaient lentement, au bout de trois ans. Citons aussi, en Europe : les mines de Sièle en Toscane, d'Agordo dans la Vénétie ; de Bakhmoutsky, province de Catherinoslaw, de Nikitowka, de la province du Daghestan, du Caucase, en Russie ; de la Bavière Rhénane, d'Olpe, etc., en Allemagne ; de Schuppiastena, près de Belgrade, en Serbie.

En France, nous avons un fait fort intéressant à signaler. Il existe une zone très étendue, depuis Montpellier jusqu'à l'Aveyron, renfermant en profondeur des minerais de mercure. A certains moments, il sort du sol des vapeurs mercurielles qui se condensent en petits globules dans les fissures des schistes.

L'Amérique possède les plus importantes mines de mercure après l'Europe. Les plus renommées sont celles de New-Almaden dans la Californie. On en exploite aussi dans d'autres parties des États-Unis, au Mexique, à Santa-Barbara au Pérou, au

Chili. On signale aussi des gisements de mercure en Chine, au Japon, et à Ral-el-Ma, près de Jemmapes, en Algérie.

III. — NICKEL.

Le nickel, métal d'une utilisation récente, fut trouvé d'abord dans les mines de cuivre de l'Allemagne, où les ouvriers l'appelaient *mauvais cuivre*. Le métal ne fut isolé qu'en 1751, par Cronsted.

Le nickel possède des qualités précieuses : il conserve son brillant à l'humidité, n'est pas attaqué par les acides, constituant un excellent préservatif du fer et de l'acier, sur lesquels il se soude très facilement en lames minces. On préfère le déposer par les procédés de l'électro-chimie ; le nickelage s'est vulgarisé depuis quelques années.

Il fournit des alliages importants. Le nickel pur ne peut pas se laminer ni être martelé, mais on corrige ces défauts en lui alliant un peu de magnésium ou de manganèse. Le *maillechort*, alliage de nickel, de cuivre et de zinc, donne un métal blanc qui sert à fabriquer des ustensiles de ménage et de la monnaie de billon. Cette monnaie de nickel est actuellement en usage aux États-Unis, où elle fut d'abord adoptée, en Suisse, en Belgique, en Allemagne, en Roumanie, en Bulgarie, en Serbie et dans la plupart des États de l'Amérique. Les étuis des balles du fusil Lebel se font avec un alliage de nickel et de cuivre.

Les sels de nickel sont encore fort peu employés ; nous n'avons guère à mentionner que le sulfate de nickel, utilisé pour le nickelage.

Le nickel se trouve dans quelques mines, notamment en Nouvelle-Calédonie, à l'état d'hydrosilicate de nickel et de magnésie. Pour en extraire le métal, on pulvérise le minerai, puis on le traite par l'acide chlorhydrique ; le résidu est réduit par un mélange de charbon et de carbonate de soude mettant le nickel en liberté. Le nickel se rencontre le plus souvent allié au cobalt, au soufre, à l'arsenic et à un grand nombre d'autres métaux. Sa métallurgie devient dès lors beaucoup plus compliquée.

Statistique. — Les mines les plus importantes de nickel se trouvent dans la Nouvelle-Calédonie. Leur découverte, très récente, a révolutionné l'industrie de ce métal : de 45 francs le kilogramme, le prix du nickel tomba subitement à 5 francs. En 1889, il a été extrait 8423 tonnes de minerai en Nouvelle-Calédonie. Ce minerâi, expédié en France, est traité dans les usines de Saint-Denis, près Paris, et de Septènes, près Marseille.

Après la Nouvelle-Calédonie, les États-Unis en exploitent le plus, près de Middle, dans l'Orégon, où le minerai est également à l'état de silicate, dans le Névada, la Caroline du Nord, etc. On en trouve aussi à Sudbury, province d'Ontario, au Canada.

En Europe, signalons les gisements de l'Allemagne (Sainte-Marie-aux-Mines en Alsace, Müsen, Saxe, Nassau, etc.), de Dobschau en Hongrie, du comté d'Argyle en Écosse, de la Norvège et de la Suède qui ont fourni 34 000 tonnes de minerai en 1875, du Piémont, de Locarno en Italie, de la province de Malaga en Espagne, de Chalanches (Isère), en France.

IV. — COBALT.

Le cobalt, isolé par Brandt en 1733, accompagne toujours le nickel dans ses minerais ; il possède d'ailleurs les mêmes propriétés que ce dernier et serait employé aux mêmes usages si sa métallurgie ne présentait de grandes difficultés. Le cobalt deviendra un métal usuel le jour où l'on découvrira un procédé simple pour l'extraire de ses minerais.

Les composés du cobalt sont seuls utilisés : le *protoxyde* pour colorer le verre et pour la peinture sur porcelaine ; le *smalt* pour colorer les émaux, le verre, les produits céramiques, pour azurer le papier, le linge, pour la peinture à l'huile, pour détruire les insectes dévastateurs de la canne à sucre ; le *bleu de cobalt* pour la peinture à l'huile et à l'aquarelle, la peinture sur porcelaine, pour colorer les fleurs artificielles, les timbres-poste et les billets de banque ; le *bleu céleste* ou *cœruleum*, le *vert Rinmann*, le *jaune de cobalt*, pour la peinture à l'huile et à l'aquarelle, pour colorer le verre et les émaux.

Les minerais de cobalt sont l'arséniure de cobalt ou *smaltine* et l'arséniosulfure de cobalt ou *cobalt gris* ou encore *cobaltine*. Les gisements principaux se trouvent dans la Saxe, la Bohême, la Sibérie, la Hesse, la Suède et la Norvège. On en rencontre aussi dans le Caucase, au Chili et en Nouvelle-Calédonie. En 1889, la Nouvelle-Calédonie a extrait 3000 tonnes de minerais de cobalt. Le smalt se fabrique principalement en Saxe, en Prusse, en Suède et en Norvège.

V. — CHROME.

Le chrome, découvert par Vauquelin en 1797, ne s'emploie encore qu'à l'état d'alliage avec le fer (ferro-chrome). M. Placet l'obtient en électrolysant une dissolution d'alun de chrome, contenant un peu d'acide sulfurique et de sulfate de potasse. Il existe aussi d'autres modes de préparation.

Les composés du chrome sont utilisés, comme ceux de cobalt, à cause de leurs belles couleurs : le *sesquioxyde de chrome* pour colorer le verre et la porcelaine; l'hydrate de sesquioxyde de chrome ou *vert Guignet*, possédant le grand avantage de ne pas être vénéneux, pour imprimer les papiers peints et les tissus. L'*alun de chrome* sert dans la teinture et à rendre les tissus imperméables ; le *chromate neutre de potasse* est employé pour obtenir les *chromates de plomb*, jaunes ou orangés, magnifiques couleurs ; le *bichromate de potasse* est utilisé dans les piles, en photographie, pour préparer certaines couleurs de goudron, pour fabriquer les allumettes chimiques et les amorces, pour blanchir les huiles, pour obtenir le *vert Guignet*, pour teindre les étoffes.

Les minerais de chrome sont le *fer chromé* et le *plomb chromaté* ou *plomb rouge* de la Sibérie. Le fer chromaté, malheureusement rare, offre seul de l'importance. On le trouve dans la Nouvelle-Zélande, dont les sept mines ont produit 2475 tonnes en 1889 ; en Grèce, dans les îles d'Eubée et de Scyros ; en Hongrie, à Alt-Orsova sur le Danube ; en Russie, dans les monts Oural ; en Norvège ; en Sibérie, à Ékaterinembourg ; dans

le Maryland et la Pensylvanie aux États-Unis ; au Canada, à Cuba.

VI. — MANGANÈSE.

Le manganèse, isolé par Scheele et Gahn à la fin du xviiie siècle, est utilisé à l'état d'alliage avec le fer et l'acier qu'il rend plus dur et plus blanc. On obtient cet alliage en ajoutant des minerais de manganèse aux minerais de fer dans les hauts-fourneaux.

Les principaux minerais de manganèse sont des oxydes, surtout le bioxyde ou *pyrolusite*. Le bioxyde de manganèse sert à préparer l'oxygène, le chlore, à rendre les huiles siccatives, à décolorer le verre, à colorer les poteries, à préparer le permanganate de potasse, excellent désinfectant. Combiné avec la soude, M. Tessié du Mottay a utilisé le bioxyde de manganèse pour préparer en grand l'oxygène et pour la décoloration des tissus.

En faisant passer un courant d'air sur un mélange de bioxyde de manganèse et de soude caustique, l'oxygène de l'air est absorbé ; en faisant ensuite passer un courant de vapeur d'eau, cet oxygène est remis en liberté. Le même mélange peut servi de nouveau pour d'autres opérations successives.

Pour décolorer les tissus, on dissout dans l'eau du manganate de soude vert (obtenu par calcination du bioxyde de manganèse avec de la soude caustique) et du sulfate de magnésie. On trempe le tissu dans cette dissolution pendant une dizaine de minutes, puis on lave dans une solution faible d'acide sulfureux qui dissout le bioxyde de manganèse précipité ; on répète trois fois cette même opération.

Les minerais de manganèse se recherchent partout très activement. En 1889, il en a été extrait 275 000 tonnes dans le monde. Les principaux pays producteurs sont : l'Allemagne (25 000 tonnes), surtout dans le duché de Nassau, l'Espagne à Huelva, le Portugal dans la province d'Alemtéjo, l'Italie dans la vallée d'Aoste, la Grèce, la Bosnie, la Serbie, la Hongrie, la Russie dans le Caucase et l'Oural (les mines de Koirily, au Cau-

case, ont fourni 130 000 tonnes, en 1891), la Suède, l'Angleterre, la Belgique (près de Liège), la France (11 000 tonnes). Les gisements de la France sont situés à Romanèche et à Grand-Filon, dans la Saône-et-Loire, à Saint-Christophe, dans le Cher, à Roquefort dans les Alpes-Maritimes, dans l'Aude, l'Indre, le Tarn et l'Ariège.

Signalons aussi les mines des États-Unis (26 000 tonnes), du Chili (25 000 tonnes), du Canada, de la Nouvelle-Écosse, du Brunswick, de Cuba, de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande.

Le wolfram, tunsgtate de fer et de manganèse, augmente la dureté et l'élasticité de l'acier. L'Allemagne l'emploie pour la fabrication de ses canons. On trouve le wolfram dans quelques mines d'Europe, mais surtout à Otago, dans la Nouvelle-Zélande, en Océanie.

VII. — ANTIMOINE.

L'antimoine était connu au XVe siècle. On le rencontre à l'état natif, et surtout sous la forme de sulfure d'antimoine ou *stibine*. Pour extraire le métal de ce sulfure, on chauffe le minerai : le sulfure fond et se sépare des matières étrangères qui l'accompagnent. On grille ensuite le sulfure fondu, puis on le réduit par le charbon et le carbonate de soude. Il existe encore d'autres méthodes d'extraction, plus compliquées et que nous ne décrirons pas.

L'antimoine ne peut s'employer seul, étant trop cassant, sauf à l'état de poudre très fine, dite *noir de fer*, obtenue en précipitant par le zinc l'antimoine d'un de ses sels solubles. Ce noir sert à donner aux statuettes de plâtre, aux objets en zinc coulé et au papier mâché, l'apparence de l'acier poli. L'antimoine forme au contraire des alliages très utiles. Allié au cuivre et à l'étain, il donne le *métal anglais*, utilisé pour fabriquer des cuillers, des flambeaux, des ustensiles de ménage, des robinets, des clefs d'instruments de musique, etc. Ce métal a le grave inconvénient de se ternir très vite. Allié au plomb et au cuivre, il sert à fabriquer les caractères d'imprimerie.

Les principaux composés d'antimoine sont : l'antimoniate de plomb, vulgairement *jaune de Naples*, l'antimoniate de bismuth, également jaune, pour peinture; le trichlorure d'antimoine ou *beurre d'antimoine*, utilisé en médecine pour cautériser les plaies et dans l'armurerie pour bronzer le fer; les variétés de sulfure d'antimoine (trisulfure naturel employé pour obtenir le métal et en pyrotechnie; *soufre doré d'antimoine*, *kermès*, *verre d'antimoine*, *foie d'antimoine*, utilisés en médecine; *rubine*, *vermillon* ou *cinabre* d'antimoine, pour la peinture à l'huile et l'aquarelle); le tartrate double d'antimoine et de potasse ou *émétique*, très usité en médecine.

Les minerais d'antimoine s'exploitent principalement en France (Vendée, Puy-de-Dôme, Lozère, Haute-Loire, Cantal, Gard, Ariège, 800 tonnes en 1889), en Corse, en Toscane, en Autriche-Hongrie, au Portugal, en Angleterre, en Suède, en Saxe, aux États-Unis, au Mexique, au Canada, à Bornéo, aux Indes, au Japon, en Australie, dans la Nouvelle-Zélande. L'antimoine, assez abondant, se trouve dispersé un peu partout.

VIII. — ARSENIC.

L'arsenic, comme l'antimoine, ne représente pas un véritable métal, car il est très cassant. Allié au plomb, il sert à fabriquer le plomb de chasse. A l'état pur, on ne l'emploie qu'en pyrotechnie pour produire des feux blancs et à l'état de poudre pour tuer les mouches.

Ses combinaisons offrent plus d'utilité. L'arséniosulfure de fer ou *mispikel*, le sulfoarséniure de cobalt et de nickel, qu'on trouve à l'état naturel, servent à préparer l'arsenic et l'acide arsénieux. Cet acide, ayant l'aspect d'une poudre blanche, est utilisé dans l'impression des indiennes, pour décolorer le verre, pour empoisonner les rats, pour préparer les verts de Scheele, de Schweinfurt, et en médecine. C'est un poison très violent, paraissant avoir été connu des célèbres empoisonneurs de l'antiquité. En petites doses, il est absorbé par les montagnards du Monténégro pour faciliter la respiration pendant leurs courses

à travers leur pays accidenté. L'acide arsénique, préparé avec l'acide arsénieux, sert en médecine et pour imprimer les tissus et fabriquer les couleurs d'aniline.

Le *réalgar* et l'*orpiment* sont des sulfures naturels. Le réalgar, coloré en rouge, est employé en peinture, en mégisserie sous le nom d'*orpin*, en pyrotechnie pour obtenir un feu blanc d'un très vif éclat (mélange de 24 parties de salpêtre, 7 de soufre et 2 de réalgar). En Chine, on en fabrique des coupes dans lesquelles on laisse séjourner de l'eau vinaigrée pour se purger. Le réalgar, préparé artificiellement, est beaucoup plus vénéneux que le réalgar naturel. On le fabrique principalement en Allemagne.

L'orpiment, de couleur jaune, sert à teindre les indiennes et les tissus d'ameublement, dans la peinture à l'huile, et aussi comme pâte épilatoire par son mélange avec un peu de chaux. L'orpiment artificiel, également préparé en Allemagne, est plus vénéneux que l'orpiment naturel.

Les minerais d'arsenic s'exploitent principalement en Prusse, dans la Saxe, le Harz et surtout à Reichenstein, en Silésie. On les exploite encore en Angleterre, dans le Cornwall, en Bohême, en Styrie et en Hongrie.

L'acide arsénieux se prépare surtout dans la Cornouaille anglaise : Truro et Saint-Austell sont les deux principaux ports d'exportation de ce produit, recherché par les verreries ; on en tire aussi d'Attenberg, en Saxe, et de Reichenstein, en Silésie (150 tonnes par an).

Le réalgar vient de la Saxe, de la Bohême, de la Transylvanie, de la Chine, du Japon ; l'orpiment de la Hongrie, de la Transylvanie, de la Roumanie, de l'Anatolie, de la Perse, de la Chine. L'orpiment naturel de la Perse est le plus estimé.

IX. — BISMUTH.

C'est encore, comme l'antimoine et l'arsenic, un faux métal très cassant. On ne l'utilise qu'à l'état d'alliage. Allié au plomb et à l'étain, il excelle pour le clichage des caractères d'impri-

merie, car il augmente de volume en se solidifiant et moule les moindres détails, mais son prix élevé empêche qu'on l'emploie autant qu'il serait désirable; on se sert aussi de cet alliage pour fabriquer des mines de crayon. Allié au plomb, à l'étain et au mercure, on l'utilise pour plomber les dents.

L'oxychlorure de bismuth, ou *blanc de perle*, sert à préparer des fards, à fabriquer des perles fausses, à colorer les émaux et la porcelaine. Le sous-nitrate de bismuth est employé en médecine contre la diarrhée, pour rendre le sulfure de calcium lumineux, colorer les émaux et la porcelaine, et pour fabriquer des perles fausses.

Le bismuth se trouve surtout à l'état natif, en Saxe, en Bohême à Joachimsthal, en Transylvanie, au Mexique, en Bolivie. On en signale la présence à Meymac, en France, dans la Corrèze.

X. — MAGNÉSIUM.

Le magnésium n'a pu être isolé qu'en 1831 par Bussy. Il fut préparé industriellement par Sonstadt, d'après la méthode indiquée par Deville et Caron. Il donne en brûlant une lumière éblouissante, fait découvert par Bunsen et Matthiesen. Matthey, de Londres, le tréfila et le lamina pour cet usage; on l'emploie aujourd'hui à l'état de poudre pour l'éclairage photographique.

Pour obtenir le magnésium, on jette dans un creuset, chauffé au rouge, un mélange de chlorure de magnésium, de fluorure de calcium et de sodium. On doit le purifier par distillation dans un courant d'hydrogène. Ce métal est volatil comme le zinc, dont il se rapproche d'ailleurs beaucoup par toutes ses propriétés.

Les principaux composés du magnésium, trouvés dans la nature, sont : le carbonate de chaux et de magnésie ou *dolomie*, le *talc* et la *serpentine*, l'*amiante* ou *asbeste*, l'hydrosilicate de magnésie ou *écume de mer*, le chlorure de magnésium qu'on extrait des eaux de la mer et des mines de sel gemme, le sulfate de magnésie qui se trouve dans les eaux purgatives d'Epsom,

de Sedlitz, etc. Citons les composés artificiels les plus utiles : la *magnésie*, employée en médecine comme léger purgatif et contre les aigreurs d'estomac, donnant un excellent ciment avec la chaux ; le *carbonate de magnésie* ou *magnésie blanche* des pharmaciens, purgatif également.

XI. — CALCIUM, BARYUM, STRONTIUM.

Ces métaux n'ont encore reçu aucune application. Il n'en est pas de même de leurs composés naturels ou artificiels.

Calcium. — *Principaux composés naturels.* — Variétés si nombreuses de carbonate de chaux (*spath d'Islande*, *albâtre calcaire*, *corail*, *marbre*, *pierre lithographique*, *craie*, *pierres à chaux* et *à bâtir*, *dolomie*, *marne*), de sulfate de chaux ou *pierre à plâtre*, de phosphate de chaux ; fluorure de calcium.

Composés artificiels les plus utiles. — Chaux et ciments, chlorure de calcium, hypochlorite de chaux ou *chlorure de chaux*, employé comme décolorant.

Baryum. — *Composés naturels.* — Carbonate de baryte ou *withérite* et sulfate de baryte ou *barytine*. Ces minerais accompagnent les autres métaux dans un grand nombre de filons.

Composés artificiels. — Blanc de baryte (sulfate) servant à glacer les cartes de visite, à satiner les papiers peints et à faire des peintures ; *baryte caustique*, employée dans le traitement des mélasses ; *azotate de baryte*, entrant dans la composition des feux verts en pyrotechnie.

Strontium. — *Composés naturels.* — Carbonate de strontiane ou *strontianite*, découvert pour la première fois au cap Strontian, en Écosse ; sulfate de strontiane ou *célestine*, abondant dans les *soufrières* de la Sicile et en rognons dans les marnes gypseuses de Paris.

Composés artificiels. — *Strontiane*, employée pour le traitement des mélasses ; *azotate de strontiane*, servant à la préparation des feux rouges en pyrotechnie.

XII. — POTASSIUM, SODIUM. — MÉTAUX TRÈS RARES.

Potassium. — Isolé par Davy en 1807, au moyen de la pile, ce métal ne fut préparé industriellement qu'en 1825 par Brünner. Donny, Mareska et Deville ont perfectionné successivement le procédé de Brünner. Le potassium n'a plus aucun usage ; on lui a substitué le sodium, obtenu à meilleur marché.

Composés naturels. — Chlorure, bromure et iodure de potassium, en dissolution dans les eaux de la mer ; azotate de potasse se formant à la surface de certains sols (Espagne, Égypte, Inde) et sur les murs humides.

Composés artificiels. — *Potasse caustique* ou *pierre à cautère* ; *cyanure de potassium*, poison violent, employé en photographie et dans l'électrochimie ; *sulfure de potassium*, pour bains de Barèges artificiels ; *sulfate de potasse*, *carbonate de potasse*, *chlorate de potasse*, *hypochlorite* ou *eau de Javel*, *silicate de potasse*.

Sodium. — Le sodium se prépare par les mêmes procédés que le potassium : on réduit le carbonate de soude par le charbon. M. Castner, de New-York, préfère réduire le carbonate de soude par du carbure de fer très divisé, lequel se prépare en calcinant un mélange de goudron de houille et de fer pulvérisé.

Le sodium sert uniquement à obtenir le magnésium. Quant à ses combinaisons, à peu près identiques à celles du potassium, il suffit de remplacer le mot potassium ou potasse par le mot sodium ou soude, dans la liste des sels potassiques, pour avoir la nomenclature des sels sodiques les plus remarquables. Nous y ajouterons le *biborate de soude* ou borax.

Tous les composés du potassium, du sodium et du calcium, seront étudiés dans des chapitres spéciaux.

Métaux très rares. — On connaît encore un très grand nombre d'autres métaux, très rares, dont l'industrie n'a tiré aucun usage jusqu'ici. Nous mentionnerons seulement : le *molybdène*, dont on utilise le molybdate d'ammoniaque ; le *vanadium*,

coûtant 110 francs le gramme, dont le vanadate d'ammoniaque sert à produire avec l'aniline un noir absolu (le vanadium provient surtout de la province de Mendoza, dans la République Argentine) ; l'uranium, dont l'oxyde entre dans la composition du verre dit d'*urane*, remarquable par sa fluorescence ; le zirconium, dont l'oxyde ou *zircone* est employé dans l'éclairage au gaz.

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

ET

INDUSTRIES CHIMIQUES

CHAPITRE PREMIER

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

I. — MARBRES.

Le marbre, calcaire d'une contexture spéciale, résulte d'une transformation subie par les diverses variétés de calcaire commun sous l'action d'une forte pression et d'une haute température. Comme conséquence, le marbre se trouve toujours dans les régions ayant subi de violentes contractions à la suite du refroidissement de l'écorce terrestre, reconnaissables à la forte inclinaison des couches qui constituent le sol.

Chaque qualité différente de marbre porte un nom spécial : le marbre *statuaire*, uni, sans veines, sans filandres et non susceptible de s'égrener ; le marbre *lumachelle*, contenant beaucoup de coquillages ; les *brèches*, formées de débris de marbres différents, cimentés par des dépôts calcaires ; le marbre *onyx*, translucide.

Le marbre est employé pour les constructions, pour l'ornementation (cheminées, tables, dessus de commodes, pendules, encriers, vases, statues, objets d'art variés, etc., etc.). On en fait aussi des billes pour enfants, billes déjà connues au temps des Romains.

Les frais de transport du marbre étant très onéreux à cause de la disproportion considérable du poids comparé au volume, on exploite de préférence les carrières situées à proximité des

mers ou des cours d'eau, de manière à pouvoir embarquer tout de suite les matériaux; les marbres d'une grande valeur font seuls exception.

Le travail préalable que subit le marbre consiste à découper les blocs massifs à l'aide de scies en acier, mues par la vapeur ou par des chutes d'eau ; la plupart des scieries se trouvent dans les pays montagneux, sur les bords des torrents, dans le voisinage des carrières.

On façonne ensuite les blocs avec des ciseaux, de manière à leur donner la forme définitive, puis on passe au polissage : on égrise et on degrossit les pièces avec du grès ordinaire, du sable, et l'on polit ensuite en frottant successivement avec de la pierre ponce, de l'émeri fin, du colcothar, de la limaille de plomb et finalement du noir de fumée. On recouvre souvent d'un vernis à la cire pour protéger le marbre et lui donner plus d'éclat. Ce vernis est composé d'une partie de cire blanche, une partie de sandaraque et six parties d'essence de térébenthine, le tout fondu à feux doux : on passe légèrement au pinceau.

Le marbre blanc peut se teindre. Il suffit de le dégrossir sans le polir, et de le plonger dans un bain de teinture qu'on chauffe progressivement : les pores du marbre se dilatent et la couleur pénètre dans toute la profondeur. Voici la composition des principaux bains de teinture : rouge (éosine, carminate d'ammoniaque) ; vert (verts d'aniline) ; jaune (gomme-gutte, jaune d'or, jaune indien) ; bleu (solution alcoolique de tournesol, sulfoindigotate d'ammoniaque, bleu de Prusse en solution dans l'acide oxalique, bleu d'aniline) ; violet (violet d'aniline) ; noir (noir d'aniline). Ces couleurs doivent être dissoutes, selon les cas, dans l'eau ou dans l'alcool méthylique, sauf les exceptions mentionnées.

Quand on veut, non plus teindre uniformément, mais seulement veiner le marbre blanc, on étend des couleurs chaudes au moyen du pinceau.

On est parvenu à reproduire les photographies sur le marbre bien blanc. On étend sur le marbre, dans le cabinet noir,

une couche très mince et bien uniforme d'une solution composée de :

Bitume de Judée	100 grammes.
Benzine	1000 —
Essence de térébenthine	1000 —
Cire blanche	10 —

On laisse sécher, toujours dans l'obscurité. Ceci fait, on insole sous un négatif renforcé au bichlorure de mercure, pendant un temps variable suivant l'intensité de la lumière, environ vingt minutes en plein soleil. On développe l'image en lavant à l'essence de térébenthine, jusqu'à ce que l'image apparaisse nettement quand on projette à sa surface un jet d'eau violent.

Maintenant, au lieu de graver à l'acide, ce qui serait possible, on va colorer le marbre. Il suffit de recouvrir l'image de la couleur en dissolution. Quelques instants après, on lave avec de la benzine tiède qui dissout le bitume, puis avec de l'eau et on polit légèrement après dessiccation.

On peut aussi, grâce à des procédés simples, modifier les couleurs de certains marbres. M. Kuhlmann a fait des expériences démontrant que la marbrerie pourrait avoir recours à des réactifs semblables à ceux dont on se sert pour donner aux agates et autres pierres précieuses des couleurs plus belles que nature. Par exemple, on colore le marbre en brun ou en noir en le chauffant avec du brai de goudron ; le marbre de Sienne passe du jaune au rose avec le bichromate de potasse ou le nitrate de soude.

STATISTIQUE.

France. — « La France, écrivait M. Gourlier, à propos de l'Exposition anglaise de 1851, la France est peut-être aussi abondamment pourvue qu'aucun autre pays du monde, sauf l'Italie, en marbres, granits, porphyres, etc., de toutes sortes, et en partie des meilleures qualités et des plus belles couleurs. Les Romains, qui ont si bien su découvrir et mettre en œuvre tout ce que les pays soumis à leur domination renfermaient de

beau et de bon, n'ont pas manqué de le faire pour les marbres de presque toutes les parties des Gaules ; ils en ont ouvert ou exploité les carrières, et en ont utilisé les produits dans plusieurs des édifices dont ils ont couvert notre sol, ainsi que pour plusieurs monuments de la statuaire.

» L'emploi de ces beaux matériaux a pu se continuer, même dans les temps de décadence de l'art antique, parce que les temps de décadence ne sont pas ceux où l'on apprécie le moins tout ce qui donne de la richesse et de l'éclat ; mais est arrivé le moyen âge qui, dans ses nombreuses et importantes créations, a moins tenu, en général, à la beauté des matériaux qu'à la grandeur et à la hardiesse des constructions, et ne s'est principalement servi, quant aux décorations intérieures, que des vitraux de couleurs et des peintures murales.

» Le goût des décorations en marbre revint naturellement avec la Renaissance ; et, par suite de nos conquêtes en Italie, ce fut d'abord de ce pays qu'on en fit venir quelques-uns. Nos marbres nationaux furent ensuite exploités sur une vaste échelle. Louis XIV en avait fait venir des quantités considérables, principalement de tout le midi de la France, en même temps que de plusieurs parties de l'Italie et du Levant. Ces approvisionnements ont défrayé non seulement les immenses travaux entrepris par Louis XIV, mais aussi ceux exécutés sous ses successeurs, ainsi que sous le consulat et l'empire. »

La consommation du marbre est par trop restreinte en France. On construit les palais avec du calcaire grossier, et Paris même ne saurait rivaliser, pour le choix des matériaux, avec les monuments de Gênes, de Florence, de Venise. Les Grecs, les Romains, les Égyptiens nous étaient supérieurs pour le luxe de leurs palais et de leurs temples.

La France fournirait du marbre à toute l'Europe si la plupart de ses carrières ne se trouvaient pas aussi éloignées de la mer, d'où transports coûteux et fort difficiles.

Les marbres des Pyrénées sont les plus beaux et les plus recherchés de France, mais souvent les routes manquent pour qu'on puisse les exploiter. Il faut parfois se contenter de faire

rouler les blocs le long des montagnes jusqu'au fond des vallées, mais ils y arrivent brisés et sans valeur. Les chutes d'eau, si nombreuses dans les Pyrénées, sont également très propices à l'installation des scieries. Parmi les marbres les plus célèbres, citons ceux de Saint-Béat, de Campan, de Serancolin, etc. Le marbre blanc de Saint-Béat présente une analogie incontestable avec celui de Paros : bien choisi, il offre un facies, une morbidesse quelquefois préférable à l'aspect toujours un peu froid du marbre de Carrare ; plusieurs de nos statuaires lui accordent une préférence motivée par la beauté des statues et bas-reliefs sortis de leurs mains. Le château de Versailles doit une partie de sa splendeur aux marbres de Campan, si remarquables. Signalons aussi quelques beaux marbres exploités dans l'Ariège et dans les Pyrénées-Orientales. Le marbre de Castera-Verduzan, dans le Gers, sert à fabriquer des objets d'art et de fantaisie.

Les marbres des Alpes peuvent lutter avec ceux des Pyrénées. L'Isère est particulièrement riche : citons le marbre statuaire et les cipolins roses et verts du Valsenestre, les marbres de l'Échaillon, près Voreppe, de Laffrey, de Sassenage, de la Porte-de-France à Grenoble. Le marbre blanc de Sainte-Colombe, dans les Hautes-Alpes, ressemble à celui de Carrare.

Les départements du Var, des Bouches-du-Rhône, de l'Aude, du Jura, des Vosges, du Cher, de la Nièvre, de la Sarthe, du Nord et du Pas-de-Calais fournissent aussi de beaux marbres. Les marbres sanguins et violacés de Sampans, dans le Jura, ont servi à la construction du Nouvel Opéra, à Paris.

Les régions du Nord et de l'Ouest, où dominent les terrains sédimentaires, possédent peu de marbres. Le Nord consomme surtout les marbres de Boulogne (Pas-de-Calais) et ceux de Jeumont et de Cousolres, dans l'arrondissement d'Avesnes ; l'Ouest se fournit dans les départements de la Sarthe et de la Mayenne.

Le nombre des carrières de marbre s'élève à 150 pour la France entière, occupant quantité d'ouvriers. Les scieries les plus nombreuses sont situées dans les départements de la Haute

Garonne, du Nord, du Jura, des Hautes-Pyrénées, de l'Hérault, de la Sarthe, des Ardennes, de l'Ain, de l'Ardèche, de l'Eure, du Pas-de-Calais, des Basses-Pyrénées, de l'Isère, de la Haute-Savoie et des Vosges. La valeur du marbre, à la sortie des scieries, représente 6 à 10 millions de francs par an.

Algérie. — Ce pays renferme des marbres magnifiques à peine exploités. L'albâtre onyx, d'une transparence admirable et de couleurs variées, très précieux pour des motifs de décoration (vases, cheminées, colonnes, statues, pendules), déjà connu des Romains, s'exploite à Aïn-Tekbalet, dans la province d'Oran. Citons aussi le marbre jaune transparent de Nedroma. Le marbre du Fil-Fila, voisin de la mer, rivalise avec celui de Carrare. Les brèches rouges de Chenouah, près de Cherchell, dans la province d'Alger, également situées près de la mer, ont un grand avenir. A signaler enfin les marbres des environs de Bône, du cap Matifou et de Fondouck.

On exploite à Schemtou, en Tunisie, les carrières de marbre jadis si recherché par les Romains sous le nom de marbre de Numidie.

Belgique. — La Belgique abonde, dans la région dévonienne s'étendant entre Sambre et Meuse, en marbres de colorations vigoureuses, de tons riches, utilisés par les artistes flamands pour la construction des superbes édifices qui font la gloire de ce pays. A citer surtout le sainte-anne, noir avec fleurs grises, les marbres noirs de Merbes-le-Château, près d'Erquelines, ceux de Galzinnes, entre Péruwelz et Dinant.

Angleterre. — Les marbres y sont relativement rares, mais très activement exploités dans les comtés de Devon, Derby, Dorset, Stafford, Cornouailles, etc. On en trouve quelque peu en Écosse et en Irlande. A signaler de l'albâtre calcaire dans quelques localités.

Prusse. — La Westphalie et la Silésie possèdent des marbres remarquables.

Italie. — Les carrières de Carrare n'ont pas de rivales au monde pour le marbre blanc statuaire. Ces carrières, déjà exploitées dès les premiers temps de l'empire romain, aban-

données en partie sous le moyen âge, furent exploitées de nouveau aux XIIe et XIIIe siècles. Au nombre d'une centaine, elles occupent trois à quatre mille ouvriers. Rien de plus imposant que l'aspect de la montagne toute blanche où sont creusées ces carrières, uniques dans le monde.

La Toscane fournit les marbres remarquables des montagnes de Seravezza, où Michel-Ange fit extraire les matériaux qui lui servirent à édifier les somptueux édifices de Léon X; les montagnes du Pisan (Monte Rombolo) renferment des marbres blancs analogues à ceux de Carrare. Les beaux marbres de l'île d'Elbe ont été utilisés pour la construction du baptistère de Florence et de la coupole de Ravenne, immense monolithe de onze mètres de diamètre, érigé du temps de Théodoric.

Le marbre abonde d'ailleurs en Italie; on ne rencontre nulle part ailleurs de plus superbes monuments devant leur splendeur à cette pierre de choix.

Espagne. — Pays très montagneux, très riche en marbres. Les marbres statuaires s'exploitent dans la Sierra Nevada; les marbres pour construction viennent des deux Castilles et du nord de l'Espagne. Les carrières, activement exploitées par les Romains et les Maures, sont presque abandonnées aujourd'hui; la plupart, situées près de la mer, pourraient cependant transporter facilement leurs produits dans les pays étrangers.

Portugal. — Cette contrée abonde en marbres remarquables comme ceux de l'Espagne. Lisbonne travaille beaucoup les marbres d'Estremoz, de la province d'Alemtéjo, de Cintra à l'embouchure du Tage, de Sétubal dans la montagne d'Arrabida. Citons aussi les albâtres de Bragance.

Grèce. — Les marbres de la Grèce, déjà célèbres dans l'antiquité, possèdent une renommée universelle. Ce pays tient une des premières places comme producteur de marbre. Qui n'a d'ailleurs admiré les restes si précieux de l'art statuaire de la Grèce antique, reliques devant servir de modèle à toutes les générations futures? Les Grecs semaient à profusion le marbre dans leurs temples et dans leurs palais. Les Romains puisèrent aussi

la plupart de leurs matériaux de construction dans les carrières de la Grèce.

Signalons en première ligne les marbres célèbres de Paros et du Pentélique. A citer encore les marbres de Pérahora, en Laconie, récemment retrouvés, qui fournissaient le *rouge antique*; les marbres de Promalthia, de l'Hymette, de Baletga, de Ténos, de Phénori.

Serbie. — On y exploite du marbre dans la partie méridionale, à Pirot et à Krouchewatz.

Hongrie. — On y trouve de beaux marbres d'un rouge marron.

Turquie d'Asie. — A citer l'onyx de Van, dans la province d'Erzéroum, remarquable par sa blancheur; on le travaille à Tiflis.

Égypte. — Les marbres de l'Égypte furent surtout exploités par les Romains, les anciens Égyptiens n'ayant guère fait usage que des granits ou des porphyres pour leurs constructions monumentales et leurs statues. On a récemment ouvert de nouveau les carrières d'albâtre, dit *oriental*, si célèbre dans l'antiquité.

Amérique. — On exploite du marbre aux États-Unis, au Canada, au Mexique (onyx superbe de Técali, État de Puebla, des États de San Luiz de Potosi et d'Oajaca), au Vénézuela, dans l'Uruguay, etc.

Océanie. — A citer quelques marbres de l'Australie et le marbre vert de la Nouvelle-Calédonie, rappelant le jade.

II. — CALCAIRES.

Tous les calcaires peuvent servir aux constructions, mais avec des différences très marquées au point de vue de la résistance et de la durée. On recherche de préférence les calcaires de l'époque jurassique. Ceux des époques antérieures sont plus durs, mais trop difficiles à tailler; il en existe aussi de plus tendres, dans le crétacé et le tertiaire, mais ils n'offrent pas assez de résistance pour les constructions de longue durée. Par

ses travaux sur la silicatisation, Kuhlmann est parvenu à transformer les calcaires poreux en pierres résistantes.

Au point de vue pratique, on divise les calcaires de construction en deux catégories : les *pierres de taille*, pouvant être taillées, extraites en blocs de grandes dimensions, et les *moellons* ou fragments de toutes formes, employés tels quels.

La *craie*, calcaire blanc, tendre, facilement pulvérisable, sert dans l'industrie des produits chimiques pour neutraliser les acides, et aussi dans la fabrication des mastics, du carton-pâte, de certains produits céramiques, ou encore pour falsifier certains produits en augmentant leur poids. La craie des écoliers est de la craie taillée en bâtons.

Le blanc minéral, dit aussi *blanc d'Espagne* ou *blanc de Meudon*, se prépare en broyant de la craie, délayant dans un courant d'eau qui entraîne les particules les plus fines et laisse déposer le sable, séchant et mettant en pains. Ce produit se fabrique principalement à Meudon et à Beaumont (Seine-et-Oise), à Dieppedalle (Seine-Inférieure), à Châlons-sur-Marne et à Villeloup (Aube).

Certaines sources minérales laissent déposer du calcaire sur les objets qu'elles baignent. Parmi ces sources, dites *incrustantes*, la plus célèbre est celle de Saint-Allyre, située dans un faubourg de Clermont (Puy-de-Dôme). On l'utilise pour obtenir de menus objets d'ornementation. Ces objets, moulés en plâtre ou en ciment, sont déposés sur les marches d'un escalier où coule lentement l'eau de la source incrustante : le dépôt de calcaire s'y effectue en quelques jours. Nous tenions à signaler cette petite industrie locale.

Statistique. — Les calcaires anciens, rares sur le Plateau Central, plus communs dans les Ardennes et la partie orientale de la Bretagne, sont utilisés comme matériaux de construction et surtout pour fabriquer la chaux, si utile à l'agriculture dans les régions granitiques.

Les Alpes et les Pyrénées abondent en calcaires souvent marmoréens. Les Vosges fournissent un calcaire coquillier, dit *muschelkalk*, utilisé principalement pour fabriquer la chaux.

Les terrains jurassiques sont très riches en calcaires. En Normandie, ce calcaire, compact, gris bleuâtre, pétri de petites huîtres, fournit beaucoup de pierres de taille et de moellons. La chaux grasse et phosphatée qu'on en retire constitue un excellent engrais.

Sur les pentes du Morvan et sur les crêtes de partage des bassins de la Seine et de la Saône, le calcaire jurassique devient marneux et propre à la fabrication de ciments renommés (Vassy, Pouilly, etc.).

Les calcaires oolithiques du Nord fournissent de bonnes pierres de taille; dans le Sud ils deviennent compacts et les variétés plateuses s'emploient comme pierres tégulaires, sous le nom de *laves*.

Les calcaires crétacés du Nord sont friables, ceux du Sud compacts et ressemblant aux calcaires jurassiques. Les terrains tertiaires renferment des calcaires marins et d'eau douce, excellents parfois comme matériaux de construction.

Le bassin de Paris abonde en matériaux de construction les plus divers. Cette ville a trouvé autour d'elle les éléments nécessaires pour édifier ses palais et ses innombrables maisons. Nulle région, en France, n'a été plus fouillée ; nulle part ne se voient autant de carrières. Les calcaires grossiers s'étendent dans les environs de la ville et sous la ville même, dont les célèbres catacombes sont d'anciennes carrières abandonnées. Encore aujourd'hui, à Montrouge, à Bagneux, à Gentilly, à Arcueil, dans tout le sud de la capitale, on continue à creuser dans le calcaire des galeries qui formeront de futures catacombes. Au nord de Paris, il faut remonter jusqu'à la vallée de l'Oise pour retrouver la même roche, très exploitée sur les bords de cette rivière, à Chantilly, à Saint-Maximin, à Saint-Leu, à Conflans, etc. A l'est, en Seine-et-Marne, on retrouve aussi de beaux calcaires. Ceux de Château-Landon et de Souppes, susceptibles d'un beau poli, furent utilisés pour la construction de l'arc de triomphe de l'Étoile. La brèche calcaire de Provins peut aussi recevoir un beau poli.

Les anciennes carrières de craie servant de caves à Reims,

à Épernay, etc., pour la fabrication des vins de Champagne, sont encore plus remarquables que les catacombes de Paris, car la masse crayeuse, bien homogène, a permis de tailler des galeries plus spacieuses.

Les pierres de taille jurassiques de Mussy, de Bar-sur-Aube, de Bar-sur-Seine, dans l'Aube, sont remarquables. Les pierres de Tonnerre, dans l'Yonne, s'exportent dans le monde entier : on en fait d'excellentes pierres de taille, des filtres, des tables pour imprimerie, pour corroyer les cuirs, pour étamer les glaces ; on les recherche aussi pour la sculpture. A citer encore, dans l'Est, les calcaires de la Meuse et de Meurthe-et-Moselle, entre Toul et Nancy.

Si nous passons dans l'Ouest, nous trouvons quelques centres remarquables d'exploitation des calcaires. La pierre de Caen s'exporte au loin. Jadis, quand la ville appartenait aux Anglais, il était défendu aux habitants de bâtir autrement qu'avec du bois, la pierre étant exclusivement réservée aux besoins de l'Angleterre. La pierre de Caen servit à construire les belles églises gothiques de l'Angleterre, l'abbaye de Westminster à Londres, la plupart des églises de la Normandie et même l'église de Saint-Georges, à New-York, aux États-Unis. Paris en fait une grande consommation.

Les carrières de tuffeau abondent le long de la Loire, entre Saumur et Tours. Certaines localités, la ville de Langeais, par exemple, doivent à ces carrières un aspect tout particulier et très pittoresque. Ces carrières, ouvertes sur les flancs des coteaux, donnent asile à un grand nombre d'habitations à moitié souterraines. Les tuyaux de cheminée traversent la couche de calcaire et viennent aboutir au milieu des champs, au sommet des côteaux. Le tuffeau, pierre blanche ou grise, fort tendre à la sortie de la carrière, se taille très facilement, mais durcit ensuite à l'air et fournit de très bons matériaux. Le tuffeau blanc possède plus de résistance que le grès. La durée de cette pierre est pour ainsi dire indéfinie : des monuments, datant de plusieurs siècles, ont conservé la fraîcheur de leurs premières années de construction. Elle prend souvent à l'air

une teinte rougeâtre, donnant aux maisons un air de gaieté qu'on retrouve rarement ailleurs.

Loudun, Poitiers, Vivonne, Civray, Lussac, Montmorillon, dans la Vienne, possèdent des calcaires fort remarquables.

Citons encore les belles carrières du Cher, de la Nièvre, de la Côte-d'Or, de Choin près de Lyon, permettant de construire dans cette ville des maisons si élevées, celles des flancs des coteaux entre Blaye et Bourg, dans la Gironde, donnant asile à de nombreux troglodytes, comme en Touraine et en Anjou, celles de la Charente qui fournissent des monolithes de dix mètres de hauteur, celles du Doubs, du Jura et de l'Ain. Dôle, dans le Jura, exploite un calcaire veiné de rose et de rouge, fort recherché. A signaler aussi la pierre de Saint-Ylie, dans le même département, utilisée à Paris pour balustrades et parapets de ponts.

La Belgique expédie en France de belles pierres bleues, très résistantes, appartenant au calcaire carbonifère, dites *petit granit*. Elles viennent surtout de Soignies et d'Écaussines, dans le Hainaut.

L'Angleterre, pauvre en calcaire, tire cette pierre du continent. Elle préfère d'ailleurs employer dans ses constructions la brique et le granit, le climat humide de ce pays étant peu propice à la conservation du calcaire.

La Saxe fait une immense fabrication de billes à jouer avec ses pierres dures. La pierre, cassée en petits cubes grossiers, est arrondie en quelques instants entre deux meules. La meule inférieure consiste en une pierre plate et fixe, creusée de sillons; la meule supérieure est en chêne. On fait aussi des billes en terre cuite vernissée, en marbre, en porcelaine, en verre (dites agates). Toutes ces billes viennent principalement d'Allemagne.

III. — MORTIERS AÉRIENS.

La chaux s'obtient par simple calcination des calcaires, que la chaleur décompose en acide carbonique et en chaux. La calcination s'effectue dans des fours où l'on introduit un mélange

de calcaire et de charbon. Ce charbon est presque partout de la houille, très rarement du charbon de bois et seulement dans quelques localités. Les fours, jadis intermittents (il fallait les recharger après chaque opération, ce qui était long et coûteux), ont été transformés en fours continus. Dès qu'il se produit un tassement, on charge par le gueulard avec un mélange de calcaire et de houille ; on retire la chaux par la partie inférieure, à mesure de sa formation, d'où grande économie de temps et d'argent.

Avec un calcaire non argileux, on obtient de la chaux ordinaire, dite *aérienne*, appelée *grasse* ou *maigre* suivant la pureté du calcaire employé. La chaux est grasse quand elle foisonne rapidement dans l'eau, dégage beaucoup de chaleur et forme une pâte liante ; elle est maigre dans le cas contraire. La magnésie, souvent mélangée avec les calcaires, rend la chaux maigre.

La chaux sert principalement pour la fabrication des mortiers ; elle est également très employée par les industries chimiques comme alcali, le plus économique et le plus facile à se procurer, et par les cultivateurs pour amender les terres granitiques et argileuses. La Bretagne et le Plateau Central en font une énorme consommation pour ce dernier usage.

On fabrique en France de la chaux dans tous les départements. Les fours se construisent le plus généralement à proximité de la carrière d'où s'extraient les calcaires, le transport de ces calcaires étant plus onéreux que celui de la houille. Parmi les départements les plus riches en fours à chaux, citons ceux de Seine-et-Marne, fabriquant beaucoup à cause du voisinage de Paris, Saône-et-Loire, Pas-de-Calais, Deux-Sèvres, Vienne, Charente-Inférieure, Allier, Dordogne, Nord, Gironde, Gard, Indre, Mayenne (qui fournit de la chaux à toute la Bretagne), Nièvre, Cher, Calvados et Eure.

La chaux la plus pure s'obtient par la calcination de certaines coquilles, principalement des *bénitiers*, très abondants dans les mers de l'Inde. En calcinant cette chaux avec du soufre et un peu de sous-nitrate de bismuth, on prépare une poudre blanche possédant la propriété d'absorber la lumière solaire pendant

le jour et de la restituer lentement pendant la nuit. On utilise ce sulfure pour illuminer certains objets pendant la nuit : les cadrans des horloges et des pendules, les serrures, etc. On en peint des tableaux lumineux : la poudre est délayée, avec un peu de glycérine, dans de la gélatine bien blanche en solution dans l'eau tiède. Il faut employer cette peinture pendant qu'elle est chaude. Il convient de recouvrir les tableaux d'un vernis à la gomme laque, afin d'empêcher l'altération du sulfure à l'air.

On connaît plusieurs sulfures phosphorescents : les sulfures de zinc, de baryum et de calcium. Le sulfure de baryum a été découvert en 1602 par Vincenzo Casciorolo, cordonnier à Bologne. Le sulfure de zinc reste lumineux pendant deux heures seulement. Le sulfure de calcium offre des colorations diverses : jaune quand le calcaire qui sert à le préparer est pur, vert avec l'aragonite, et violet quand on ajoute un peu de sous-nitrate de bismuth.

Mortiers. — La théorie des mortiers aériens est simple : abandonnée à l'air, la chaux absorbe peu à peu l'acide carbonique contenu dans l'air et forme du carbonate de chaux plus ou moins dur.

On ne saurait employer la *chaux vive*, c'est-à-dire sortant du four; il faut l'hydrater, en la mettant en contact avec trois fois environ son poids d'eau. La chaux augmente beaucoup de volume, dégage une grande quantité de chaleur, et se transforme en une masse pâteuse, blanche, dite *chaux éteinte*.

La chaux se contracte beaucoup en se desséchant et en absorbant l'acide carbonique de l'air, d'où l'impossibilité de se servir uniquement de la chaux éteinte comme mortier pour souder les pierres entre elles; ce mortier se fissurerait et ne formerait pas un bloc solide avec les autres matériaux. On évite cet inconvénient en mélangeant la chaux avec du sable, celui de rivière de préférence. Il convient, avec les bonnes chaux (dites grasses), d'employer trois à quatre fois plus de sable que de chaux ; avec les chaux médiocres (dites maigres), il faut diminuer la proportion de sable. Le brassage du sable et de la chaux se fait à la pelle, ou mieux mécaniquement dans un cylindre vertical, ren-

fermant des palettes qui agitent le mélange et sont mues par une force motrice quelconque.

La gelée désagrège le mortier ; on ne peut bâtir quand il fait trop froid. On peut cependant rendre le mortier non gélif en y ajoutant du sel marin, du chlorure de calcium ou du carbonate de soude. En Norvège, on bâtit même par des froids de 10 à 12 degrés au-dessous de zéro, en faisant le mortier avec de la chaux vive pulvérisée, du sable et de l'eau. L'hydratation de la chaux dégage assez de chaleur pour empêcher le mortier de geler.

Le mortier ordinaire n'est pas utilisable pour les constructions baignées par la mer; il faut, dans ce cas, remplacer la chaux par de la magnésie, obtenue, comme la chaux, par la calcination du carbonate de magnésie. Ce procédé n'a pas reçu d'application jusqu'ici, le carbonate de magnésie étant rare et ses gisements encore peu étudiés. On en trouve cependant de grandes quantités à Kraubath en Styrie, près de Brück, en Autriche; dans la vallée de Fragoess, à Grochau en Silésie, au Canada et en Californie.

Le *béton*, mélange de chaux, de sable et de gros graviers, est employé pour les fondations des murs ou pour recouvrir le sol d'une nappe solide et destinée à supporter d'autres matériaux, dalles ou bitume.

On peut augmenter la dureté des mortiers aériens par l'adjonction de diverses substances en poudre, nommées *pouzzolanes*. Les mortiers des anciens Romains doivent leur dureté et leur résistance exceptionnelles à l'emploi des pouzzolanes.

Les principales substances employées sont: la *pouzzolane naturelle*, sorte de cendre volcanique, très abondante à Pouzzoles, près de Naples et aux environs de Rome, en France dans l'Auvergne et les Ardennes; le *trass*, tuf trachytique des cônes volcaniques des bords du Rhin; la *ponce*, d'origine également volcanique. On utilise aussi, mais avec moins de succès, les argiles cuites, certains sables de la Champagne et du Périgord, certains schistes décomposés du Finistère, des grès, le laitier des hauts-fourneaux, le mâchefer des forges, les cendres de houille et de tourbe.

La chimie n'a pas encore dit son dernier mot sur le durcissement des mortiers, question si intéressante au point de vue pratique. Tout le monde a pu remarquer combien les mortiers aériens devenaient durs dans les constructions voisines du bord de la mer. Il est donc probable que l'air marin, chargé de matières salines, apporte avec lui des éléments de durcissement encore peu connus.

IV. — CHAUX HYDRAULIQUES ET CIMENTS.

La chaux aérienne ne peut servir pour les constructions immergées dans l'eau, car elle ne durcit pas. Il faut dans ce cas se servir d'une chaux particulière, dite *chaux hydraulique.*

La chaux hydraulique est connue depuis la plus haute antiquité, tout aussi bien que la chaux aérienne, car il suffit de calciner un calcaire argileux pour l'obtenir. A la fin du XVIII[e] siècle, on fit, principalement en Angleterre et en France, des études sur la chaux hydraulique qui conduisirent à la découverte d'une chaux éminemment hydraulique, appelée *ciment*, excellente pour les constructions aériennes ou immergées. Le ciment tend de jour en jour à se substituer partout à la chaux ordinaire.

En 1756, le célèbre ingénieur anglais Smeaton, s'étant livré à des recherches expérimentales au sujet de la construction du phare d'Eddystone, reconnut que la cause de l'hydraulicité de la chaux résidait dans la présence de l'argile dans le calcaire ayant servi à sa fabrication. Il essaya donc de calciner un mélange de chaux et d'argile, cuite et pulvérisée, mais il obtint un résultat nul. En 1796, un chaufournier anglais, nommé Parker, calcina des calcaires argileux et obtint un ciment d'une grande résistance. L'Angleterre conserva longtemps le monopole et le secret de cette fabrication du ciment, qu'on appelait *romain*, pour rappeler la dureté des anciens mortiers romains. On calcinait simplement les boues de la Tamise, mélange de craie et d'argile.

Un grand nombre de chimistes et d'ingénieurs s'occupèrent

en France de la même question : Chaptal, Gay-Lussac, Thénard, Berthier, Raucourt de Charleville, et surtout Vicat. Dès 1812, Vicat s'adonna à l'étude des ciments avec un zèle, un talent et un désintéressement extraordinaires. Cet homme de bien ne voulut pas profiter seul de ses travaux. Il refusa de prendre un brevet, et son fils dut exploiter les découvertes de son père au même titre que les autres. Bien plus, Vicat rechercha partout, en France, les gisements de calcaires propres à la fabrication des ciments et les fit connaître généreusement au public. Chaque localité put dès lors fabriquer des chaux plus ou moins hydrauliques, sans avoir recours, comme autrefois, aux ciments anglais ou aux pouzzolanes d'Italie. Dès 1844, on estimait à 200 millions de francs, la somme économisée par le gouvernement français, grâce aux travaux de Vicat. Aussi reçut-il à juste titre, cette même année, une pension viagère de 6000 francs, comme récompense nationale, et un prix de 12000 francs de la Société d'encouragement pour les inventeurs.

Fabrication des chaux hydrauliques et des ciments. — Les chaux hydrauliques doivent contenir de 9 à 20 p. 100 d'argile ; elles durcissent d'autant plus vite dans l'eau que la proportion d'argile augmente : à 10 p. 100, elles mettent une quinzaine de jours à durcir ; à 15 p. 100, une semaine. Le mortier se fait en mélangeant du sable à la chaux hydraulique, cette chaux se fendillant comme la chaux aérienne quand elle est employée seule.

Quant au ciment, la proportion d'argile doit s'élever entre 21 et 72 p. 100. Il sert lui-même de mortier, car il ne se fendille pas par la dessiccation à cause de la présence d'un excès d'argile. Selon les matières premières employées, selon les procédés de fabrication, le ciment est à prise rapide (dit *ciment romain*) ou à prise lente (dit *ciment de Portland*). Le ciment à prise lente contient moins d'argile que le ciment à prise rapide.

On distingue encore les chaux hydrauliques et les ciments *naturels*, fabriqués avec des mélanges naturels de calcaire et d'argile, et les ciments *artificiels*, obtenus par des mélanges artificiels de ces mêmes substances. Les ciments naturels sont

d'une qualité supérieure aux ciments artificiels, le mélange étant plus parfait dans les roches naturelles. Les matières premières sont des calcaires marneux ou des marnes, pour les chaux hydrauliques et les ciments naturels ; des marnes, de la craie et des argiles pour les mêmes produits artificiels. L'adjonction de petites quantités d'oxyde de fer, de carbonate de soude et de sel marin améliorent les ciments. Il faut surtout éviter la présence du sable. La calcination présente d'assez grandes difficultés ; la température doit rester entre des limites bien déterminées, celle où les substances mélangées éprouvent un commencement de fusion. La cuisson terminée, on broie finement la matière. M. Vallin fait le contraire : il broie d'abord très finement les matières premières et les cuit ensuite, d'où une cuisson beaucoup plus régulière et un ciment plus blanc et plus résistant.

M. Vicat fils obtient un excellent ciment à prise lente en cuisant un mélange de chaux grasse éteinte et d'argile, pulvérisant et recuisant une seconde fois. M. Fahnejelm prépare un ciment très blanc par la calcination d'un mélange de 75 parties de craie pure avec 25 parties de kaolin.

Les chaux hydrauliques s'emploient pour les constructions immergées dans l'eau douce ; elles ne peuvent s'utiliser dans l'eau de mer qui les désagrège. Les chaux hydrauliques pour eau de mer sont excessivement rares. Quant aux ciments, leur emploi se généralise chaque jour davantage, tant pour les constructions aériennes que pour les constructions submergées. Nous tendons de plus en plus, en France, à imiter les Anglais qui font un usage presque exclusif du ciment, principalement à Londres.

Le ciment à prise rapide sert à fabriquer des conduites d'eau sous pression, en noyant un fil d'acier enroulé en spirale dans la masse de ciment pour en augmenter la résistance ; on l'emploie dans la construction des égouts, des tunnels, etc.

Le ciment à prise lente, plus commode à manier, est utilisé pour la construction des trottoirs, des dallages, des cuves à vin, des réservoirs, des ponts, des grands ouvrages de maçonnerie.

Statistique. — Les chaux hydrauliques se fabriquent un peu partout. Il faut faire une mention spéciale pour la chaux du Teil, près de Viviers (Ardèche), qui jouit d'une renommée universelle. Les carrières sont situées sur le flanc de la montagne, dans le terrain néocomien. La chaux du Teil est préférée à toutes les autres pour les constructions maritimes, car elle résiste à l'action dissolvante de l'eau de mer, qualité exceptionnelle qu'elle possède presque seule. Elle a servi dans les travaux du canal de Suez. Plus de 600 ouvriers sont occupés à la fabrication annuelle de 100 000 tonnes de chaux hydraulique et de 10 000 tonnes de ciment. Les chaux hydrauliques de Sassenage et de Seyssinet, dans l'Isère, ont de l'analogie avec celle du Teil.

Les ciments, dont l'Angleterre avait jadis le monopole, se fabriquent actuellement en France, en Allemagne, un peu partout.

France. — Vicat a fondé une usine à Tenay, dans l'Ain. Son fils exploite sur une vaste échelle les calcaires marneux qui abondent dans l'Isère, dans la vallée si pittoresque du Guiers-Mort conduisant à la Grande-Chartreuse, dans un grand nombre de points de l'arrondissement de Grenoble, dans le Valbonnais, etc. On trouve une carrière très importante à Grenoble même, à la Porte-de-France, au sommet du mont Jalla, à une très grande hauteur au-dessus de la ville.

Citons encore les célèbres gisements de Pouilly, dans la Côte-d'Or, découverts en 1825 ; de Vassy, dans l'Yonne, exploités depuis 1830, qui occupent 300 ouvriers et livrent annuellement au commerce plus de 20 000 tonnes de ciment ; de Boulogne-sur-Mer, dans le Pas-de-Calais. En 1802, un ouvrier anglais découvrit sur la grève de Boulogne des galets analogues à ceux exploités de l'autre côté du détroit ; cet ouvrier commença dès lors à Boulogne une exploitation qui prit dans la suite un très grand développement.

Angleterre. — Ce pays fabrique des ciments excellents avec les boues de la Tamise et des nodules argileux, exploités au milieu de couches argileuses, sur la côte d'Essex, près d'Harwich,

et dans les îles de Wight, de Sheppy, etc. Le ciment *de Portland* doit son nom à une conformité de couleur avec la pierre de Portland, mais il ne se fabrique pas dans l'île de ce nom : on l'obtient par calcination de la craie avec le limon de certaines rivières.

V. — PIERRES ARTIFICIELLES.

Bétons agglomérés. — Dès 1823, Vicat écrivait : « Nous ne doutons pas qu'on ne puisse, au moyen du ciment, fabriquer des colonnes d'une seule pièce, et construire ainsi d'une manière durable des édifices pour ainsi dire monolithes. »

Cette prophétie de l'illustre ingénieur se réalisa bientôt. M. Coignet imagina le béton aggloméré dont on fait usage pour fabriquer des dallages, des murs de quais, des massifs de fondation, des ponts, des voûtes, des égouts, des maisons, des édifices entiers, même des statues. L'église du Vésinet, près de Paris, est entièrement construite en béton Coignet ; en 1851, M. Sappey, sculpteur à Grenoble, édifia à Uriage-les-Bains une statue colossale, le *Génie des Alpes*, de sept mètres de hauteur, entièrement faite en béton aggloméré.

Ce béton s'obtient en pilant fortement, dans des moules, des couches successives d'un mélange de sable, de chaux et de ciment, avec du gros gravier. Il faut employer le moins d'eau possible. Il convient aussi de se servir uniquement de ciment à prise lente ; sinon, avec le ciment à prise rapide, la couche en formation durcirait trop vite à la surface et l'adhérence ne serait pas assez complète avec la couche immédiatement superposée : les massifs en béton se déliteraient en feuillets parallèles. Il est également essentiel de ne pas interrompre le travail, ce qui exige des ouvriers très habiles. M. Oudry évite ce grave inconvénient en comprimant le mélange en un seul bloc dans le moule ; aux États-Unis, on chauffe le moule.

MM. Lippmann et Schneckenburger obtiennent une pierre compacte, légère et tenace, imitant le marbre, en comprimant dans un moule un mélange de ciment, de poudre d'albâtre, de marbre et de sable, de la brique pilée, du chanvre, de l'étoupe,

du crin végétal, le tout haché menu. Ces substances sont imbibées d'huile et d'eau sulfatée. On y ajoute aussi plus ou moins de sulfate de potasse pour régler la prise. Cette pierre se moule admirablement, peut prendre un très beau poli et se travailler comme de la pierre véritable. On s'en sert pour fabriquer des statues et des moulures délicates.

Ciment à oxyde de fer. — M. Alfred Chenot utilise la force agglutinante de l'oxyde de fer. Il commence par préparer du fer très divisé en réduisant de l'oxyde de fer naturel (minerai de fer), mélangé avec du charbon, dans un four chauffé avec les gaz combustibles obtenus au moyen du générateur Siemens (colonne de charbon, chauffée au rouge, et traversée par un courant d'air, d'où production d'oxyde de carbone). Il obtient ainsi une éponge de fer, qu'il pulvérise et qu'il mélange avec du sable et de l'eau légèrement acidulée ou ammoniacale, destinée à favoriser l'oxydation du fer. Par moulage, on obtient de jolies mosaïques. M. Chenot fabrique également des pierres artificielles très lourdes, excellentes pour les constructions maritimes, en moulant un mélange d'éponge de fer, de sable, de gravier fin et de scories.

Ciment à silicate de soude ou de potasse. — Ransome a obtenu une pierre artificielle très dure en moulant un mélange de sable, de craie, etc., avec une dissolution de silicate de soude ou de potasse, puis trempant le tout dans une dissolution de chlorure de calcium. Il se forme un silicate de chaux très dur, constituant un excellent ciment. Kuhlmann a utilisé la propriété du silicate de soude, de former avec la chaux un silicate très résistant, pour recouvrir les monuments en pierre calcaire d'un enduit les protégeant contre les dégradations. Cette application a été faite, notamment à Paris, pour la conservation de certaines statues, de la colonnade du Louvre et de la porte Saint-Denis. Le silicate de soude, mélangé avec du sulfate de baryte et des poudres colorées (outremer, sulfure de cadmium, ocres, oxyde de chrome, etc.), donne des couleurs économiques et très brillantes pour murs extérieurs.

Le silicate de soude en solution, mélangé avec de la poudre

de bois, fournit une substance dure se travaillant comme le bois. On obtient une excellente colle pour verre, porcelaine et pierre, en mélangeant une solution de silicate de soude avec de la craie, de la chaux éteinte, du plâtre, de l'oxyde de zinc et de l'oxyde de magnésie.

Ciment à oxychlorure de magnésium. — M. Sorel prépare un ciment très dur en gâchant de la magnésie avec une solution de chlorure de magnésium, tel que le fournissent les eaux-mères des marais salants. Ce ciment résiste d'autant mieux à l'eau que le chlorure est plus étendu (15° à 30° Baumé). Sa dureté augmente avec la concentration du chlorure. On accroît son hydraulicité par adjonction d'un peu de chaux vive ou de carbonate de magnésie, sa dureté par adjonction de chlorure de baryum ou de sulfate de magnésie.

Pour fabriquer des pierres artificielles, il faut mélanger ce ciment avec 30 à 40 centièmes de matières inertes : marbre, sable, calcaire à bâtir, granit, etc. On obtient par ce procédé des imitations de marbre, qu'on colore artificiellement, et des mosaïques.

L'oxyde de zinc peut être substitué à la magnésie ; il a l'avantage de coûter moins cher.

Le ciment Sorel, très fluide, excelle pour recouvrir les murs tendres, à cause de sa blancheur et de sa résistance. Mélangé avec de la poudre de coton très fine, il produit une substance pouvant remplacer l'ivoire et se laissant travailler au tour.

On utilise ce ciment pour ornementer le marbre. Le marbre est recouvert d'un dessin à l'encre grasse, puis gravé à l'acide. On enlève l'encre, on remplit les creux de ciment ; puis, après durcissement, on polit la surface.

On peut encore employer autrement le chlorure de magnésium pour fabriquer des pierres artificielles. On comprime fortement dans un moule un mélange de sable, de chaux vive, de magnésie et d'eau, puis on plonge le bloc dans une solution bouillante de chlorure de calcium qui forme avec la magnésie un ciment à base de chlorure de magnésium.

Le chlorure de zinc en dissolution donne avec l'oxyde de zinc

une peinture très siccative. Sorel obtient un stuc imitant le marbre, l'ivoire, la corne, l'os et le bois, en mélangeant de la fécule de pomme de terre et de l'oxyde de zinc, ou encore du sulfate de baryte avec une solution de chlorure de zinc.

VI. — PLATRE.

Le *gypse* ou sulfate de chaux hydraté, nommé vulgairement *pierre à plâtre*, se présente sous plusieurs aspects différents. Pur et transparent, on le nomme albâtre et il sert à la fabrication d'objets d'ornement : coupes, vases, socles de pendule, etc. On en trouve à Lagny, près de Paris, et surtout en Italie. Le gypse commun constitue la pierre à plâtre. C'est une masse blanche et opaque, le plus souvent d'une texture saccharoïde, ayant l'aspect du sucre en pain, comme celui des environs de Paris. Il cristallise sous la forme de fer de lance.

Il suffit de calciner le gypse pour lui faire perdre son eau et le transformer en plâtre. Le plâtre, gâché avec de l'eau, redevient du gypse et durcit. Le gypse contenant un peu de calcaire, cas le plus général, donne un plâtre de meilleure qualité que le gypse pur.

La cuisson du plâtre, jadis imparfaite et inégale, a reçu beaucoup de perfectionnements, surtout depuis les travaux du chimiste Payen. Pour lui donner une grande blancheur, on le cuit dans des fours fermés, analogues aux fours des boulangers, de manière à le mettre à l'abri de tout contact avec la flamme et la fumée. On obtient par cette méthode le plâtre destiné spécialement aux mouleurs. Pour le plâtre commun, destiné aux constructions, on opère plus économiquement dans des fours spéciaux. La grande difficulté consiste à cuire le gypse juste à point et uniformément. Pas assez cuit, la transformation n'est pas complète ; trop cuit, il perd la propriété de durcir par son mélange avec l'eau. On réduit le plâtre en poudre et on le tamise. Le plâtre destiné au moulage doit être pulvérisé au moment de s'en servir.

Le plâtre, bien préparé, sert pour les ravalements intérieurs

des maisons ; il peut être employé pour les ravalements extérieurs, mais à la condition de le recouvrir d'une peinture, le protégeant contre l'humidité. L'eau est en effet le grand ennemi du plâtre.

Le plâtre très pur excelle pour les moulages fins et délicats, car il possède la propriété précieuse d'augmenter de volume en se solidifiant, de remplir les plus petites cavités du moule et de reproduire fidèlement les moindres détails.

Les Orientaux obtiennent de très jolis effets décoratifs en enchâssant des verres colorés dans des compartiments en plâtre. Les cloisons supportant les verres occupent des plans différents ; ce dispositif donne plus de douceur aux rayons colorés. On devrait imiter en France ces jolis vitraux pour tamiser le jour.

Le plâtre sert encore à plâtrer les vins, à fabriquer la pâte à papier qu'on veut rendre plus lourde. A la dose de 100 à 150 kilos à l'hectare, on l'utilise pour amender les terres destinées à produire des légumineuses, des crucifères ou des liliacées.

Durcissement du plâtre. — Le plâtre manque de dureté ; on peut le durcir par plusieurs procédés, par exemple en le gâchant avec une solution d'acide borique et d'ammoniaque. Nous insisterons surtout sur la fabrication du *stuc* et du *plâtre aluné*.

Le stuc se prépare en gâchant le plâtre avec une solution chaude de colle forte ou gélatine. Sous cet état, on peut lui donner un beau poli, mais il résiste mal à l'humidité. L'origine du stuc est très ancienne ; on en trouve dans les ruines de l'Égypte, de la Grèce et de l'Italie. Il sert à obtenir, dans l'intérieur des habitations, des ornementations imitant le marbre. On le mélange souvent avec des matières colorantes. Grâce à un durcissement lent, on peut l'employer en couches superposées, le retoucher, le modeler et même le sculpter.

Le plâtre aluné fut découvert en 1844 par MM. Grenwood et Savoie. Aussitôt sorti du four, on plonge le plâtre et on le laisse séjourner pendant deux ou trois heures dans une solution tiède à 12 p. 100 d'alun. On le dessèche ensuite, puis on le recuit au four, on le pulvérise et on le blute.

Au lieu d'alun, on peut encore employer l'acide sulfurique,

le borax ou le carbonate de potasse. Il est indifférent de faire agir ces substances sur le gypse avant ou après la cuisson.

Le plâtre aluné, d'une grande dureté, sert à fabriquer des pierres de taille artificielles. On le durcit encore davantage en le recouvrant de trois couches successives de silicate de soude. On le colore en rouge par adjonction d'un peu de sulfate de fer, que la cuisson transforme en oxyde de fer rouge.

Statistique. — On compte, en France, environ 300 exploitations de gypse, occupant 3000 ouvriers, Le département de Seine-et-Oise occupe à lui seul près de 1700 ouvriers. Viennent ensuite, par ordre d'importance, Seine-et-Marne, les Bouches-du-Rhône, l'Aisne, le Vaucluse, etc. Les carrières, rarement à ciel ouvert, sont creusées le plus généralement en galeries souterraines. Les fours se construisent à proximité des carrières.

Le gypse abonde dans les environs de Paris. Les principales carrières s'exploitent à la base des coteaux en bordure de la Marne ou dans les collines isolées de Sannois et d'Argenteuil. Les carrières de Montmartre, autrefois si célèbres, sont actuellement abandonnées; de même pour celles des Buttes-Chaumont, transformées en parc. Lagny et Provins expédient en Angleterre de l'albâtre gypseux. Le gypse des environs de Paris est recouvert d'épaisses couches de marne, donnant lieu à une importante fabrication de ciment artificiel.

Le plâtre de Paris convient parfaitement pour les constructions et surtout pour le moulage. On en expédie de grandes quantités en Italie, en Angleterre et en Amérique.

VII. — ARGILES.

Les argiles, formées de silicates d'alumine plus ou moins purs, se présentent sous des aspects différents. On les classe en *kaolin* ou argile pure, en *argiles ordinaires* et en *ocres* ou *bols*. Les ocres sont des argiles ordinaires fortement colorées et utilisées en peinture. Nous avons eu l'occasion d'en parler ailleurs.

Kaolin. — Le kaolin, mélangé de sable et de mica, se rencontre en masses plus ou moins blanchâtres dans les terrains

granitiques, résultant de la décomposition des roches feldspathiques. Pour isoler le kaolin, on profite de sa propriété de se maintenir longtemps en suspension dans l'eau, à l'état de poudre très fine. Le minerai kaolineux est délayé dans un bassin rempli d'eau, établi le plus souvent au fond de la carrière même. Le sable et le mica se précipitent ; l'eau s'écoule lentement dans un second bassin, où elle abandonne de nouveau un sable très fin, puis passe enfin dans un troisième bassin, où le kaolin en suspension finit par se déposer. La même eau, soulevée par des pompes, revient dans le bassin supérieur délayer du nouveau minerai.

Le mélange de sable et de mica est utilisé pour la fabrication des grès cérames, des pierres artificielles et de briques d'excellente qualité.

Au point de vue industriel, on distingue trois espèces de kaolin : le *caillouteux*, grenu et friable ; le *sablonneux*, très friable et maigre au toucher; l'*argileux*, doux au toucher et formant avec l'eau une pâte liante. Le kaolin sert à la fabrication de la porcelaine et de la faïence.

L'exploitation du kaolin ne se fait activement en France que dans six départements : la Haute-Vienne, l'Allier, la Nièvre, la Drôme, les Basses-Pyrénées et la Dordogne. Le nombre des exploitations s'élève à 72, occupant environ 800 ouvriers. Les carrières sont ouvertes partout à ciel ouvert, sauf dans les Basses-Pyrénées où il existe des galeries souterraines.

Les gisements de la Haute-Vienne ont le plus de célébrité en France ; le kaolin, très fin et très blanc, est tellement abondant qu'il semble devoir être inépuisable. Il a été découvert par hasard au XVIIIe siècle par madame Darnet, après une longue suite de recherches infructueuses. Les principales carrières se trouvent à Saint-Yrieix, Coussac-Bounerval et à Condat.

Signalons aussi les gisements de la forêt des Collettes et de Beauvoir, dans l'Allier; de Saint-Léger-des-Vignes, de Saint-Pierre-le-Moustier, d'Avril, dans la Nièvre; d'Hostun, dans la Drôme ; de Louhossa, dans les Basses-Pyrénées ; de Montagnac,

de Tayac, de Jumilhac, dans la Dordogne ; de Plémet, dans les Côtes-du-Nord ; de Concarneau, dans le Finistère ; de Montebras, dans la Creuse ; de Pieux (Manche), du Cher, de l'Ariège, etc.

En Europe nous avons à signaler les gisements de kaolin de Saint-Austell, très importants, situés dans le Cornwall, et ceux du Devonshire, en Angleterre ; ceux de la Saxe, les premiers découverts en Europe, ceux du Nassau ; ceux de la Toffa près de Rome ; de Zamora et de Séville en Espagne ; ceux de la Hongrie, de l'Archipel Grec ; ceux d'Alexandrowsk, en Russie, dans le gouvernement d'Ékaterinembourg.

En dehors de l'Europe, il existe des gisements importants en Chine et au Japon ; aux États-Unis, dans les États de Massachussets, de Géorgie et de Maryland.

Argiles ordinaires, — On en distingue plusieurs variétés :

1° Les argiles *plastiques*, les plus pures, blanches ou peu colorées, infusibles aux feux de forge les plus violents, formant avec l'eau une pâte très liante, utilisées pour la fabrication des poteries et des produits réfractaires ;

2° Les *argiles figulines*, moins pures, plus fusibles à cause de la présence d'une assez forte proportion de fer, moins plastiques, utilisées pour la fabrication des poteries communes et pour modeler les statues et autres objets d'art ;

3° Les argiles *smectiques*, peu fusibles, peu liantes, absorbant les matières grasses, employées pour le dégraissage des draps sous le nom de *terre à foulon* et pour la fabrication du papier maché ;

4° Les *marnes*, mélange d'argile et de calcaire.

Les argiles abondent dans tous les terrains géologiques ; elles résultent de la désagrégation des roches cristallines. Elles se présentent sous la forme de schistes dans les terrains anciens, altérées par la pression et la chaleur ; sous cet état, elles ont des usages particuliers dont nous ferons l'étude dans le chapitre suivant.

En France, on exploite sur une vaste échelle les argiles de Vaugirard, de Vanves et d'Arcueil, près Paris ; les argiles réfractaires de la Seine-Inférieure, surtout celles de Forges-les-

Eaux ; les argiles réfractaires et autres de Montereau et de la Grande-Paroisse, les argiles à cazettes de Retourneloup, en Seine-et-Marne ; les argiles réfractaires et autres si abondantes de l'Oise ; la terre à foulon d'Hotot-en-Auge, dans le Calvados ; la terre réfractaire de Vaublanc, commune de Plémet, dans les Côtes-du-Nord ; l'argile réfractaire si renommée de Bollène, dans le Vaucluse : la terre à cazettes de la Malaise, dans la Haute-Vienne ; les terres réfractaires de Cauny-sur-Thévain dans la Somme, de Montaret dans l'Allier, celles de la Dordogne, etc., etc.

Signalons encore les terres réfractaires de l'Angleterre, dans le Staffordshire, le Yorkshire, le Derbyshire ; de l'Allemagne, près de Sarrebrück et dans le Nassau ; de Grabetsk en Pologne ; de Vicence en Italie, remarquables par leur blancheur ; celles enfin de la Belgique.

VIII. — SCHISTES ET ARDOISES.

Les ardoises représentent des argiles anciennes, rendues schisteuses par une forte compression et une grande chaleur. Elles se divisent facilement en feuillets minces ; leur coloration est très variable, noire, bleue, verte, rouge, etc. Peu altérables à l'air, elles se décomposent cependant à la longue en une terre onctueuse, terne et dure.

L'ardoise de bonne qualité possède une résistance à la rupture à peu près égale à celle du chêne, supérieure à celle du marbre et des calcaires les plus durs. Elle a sur le bois le grand avantage de ne pas pourrir.

Les ardoises servent principalement à recouvrir les toitures. Depuis quelques années, on a beaucoup multiplié leurs usages ; on en fait des dalles, des tables, des planches à écrire, des éviers, des revêtements, des marches d'escalier, des urinoirs, des plinthes, des carrelages, des appuis de croisées, des cheminées, des fontaines, des réservoirs, des tables de billard, des cuves à acide, des caisses à eau, des bains, etc., etc. Les ardoises peintes et vernies sont même des objets de décoration.

M. Sébille a eu l'idée d'utiliser les débris si abondants de l'exploitation des ardoisières pour fabriquer des pierres artificielles d'une grande résistance et d'une très longue durée. Les débris d'ardoise, chauffés avec d'autres pierres et du brai des usines à gaz, sont fortement comprimés dans un moule. On obtient par ce procédé des dalles et des bordures de trottoirs, des pavés pour étables et écuries, des tuyaux, des réservoirs à acides, etc.

Certains schistes ardoisiers ont la curieuse propriété de se débiter en pieux, utilisés comme échalas pour les vignes, comme poutrelles, etc. Les échalas en ardoise commencent à se répandre.

Les schistes ordinaires servent le plus souvent de pierre à bâtir, leur disposition stratiforme les rendant propres à cet usage. Certains schistes siliceux sont recherchés comme pierres à repasser les outils.

Statistique. — Les ardoises et les schistes se trouvent seulement dans les terrains soumis à de fortes compressions, c'est-à-dire dans les terrains de transition (cambrien, silurien ou dévonien) et dans les régions montagneuses.

La France possède de très riches ardoisières, notamment dans les Ardennes et en Bretagne. Les carrières des Ardennes, situées dans le terrain cambrien des bords de la Meuse, à Fumay, à Haybes, à Deville, à Rimognes et à Monthermé, occupent environ deux mille ouvriers et débitent 45 millions d'ardoises par an.

Le groupe des ardoisières de la Bretagne est beaucoup plus important ; il comprend les exploitations de Maine-et-Loire (Trélazé), du Finistère (Pont-Coblant, près Châteaulin), des Côtes-du-Nord, de l'Ille-et-Vilaine, du Morbihan, de la Loire-Inférieure et de la Vendée.

Les carrières de Trélazé, situées entre Angers et le village de ce nom, les plus importantes de la France, occupent le second rang dans le monde, après celles de l'Angleterre. On y débite 200 millions d'ardoises par an. L'usine de Saint-Léonard, près de Trélazé, travaille l'ardoise sous toutes les formes et fabrique des câbles en acier pour les mines. Le nombre des carrières

s'élève à 22, tant à ciel ouvert que souterraines. Les premiers travaux furent commencés au XII[e] siècle, sur les terrains de Saint-Serge, dans l'intérieur même de la ville d'Angers.

Peu de carrières offrent un aspect aussi séduisant. Nous avons emprunté la description suivante à un travail de MM. Gasté et Hervé Bazin sur *les Grandes Industries de l'Anjou.*

« Le filon ardoisier suit une ligne presque droite que dénonce aux yeux du voyageur une série de collines noirâtres, dues à l'entassement des déchets accumulés depuis des siècles. Quelques sentiers, à peine tracés, les traversent et conduisent d'une carrière à l'autre. Gravissons l'un d'eux : parvenus au sommet, nos regards embrassent un horizon assez étendu, tout hérissé de monstrueux engins, de massives charpentes et de hautes cheminées. Des nuages de fumée blanche ou noire s'élèvent vers le ciel, et les sifflets des machines à vapeur, le bruit sourd des mines, les cris des ouvriers trahissent aussitôt l'activité industrielle.

» Autour de nous travaillent les ouvriers d'en haut. Ils sont abrités contre le vent, le soleil ou la pluie, par des cabanes de chaume, qu'ils appellent *tue-vents*, et qu'ils peuvent tourner en tous sens, comme un meunier vire son moulin. Ces tue-vents sont groupés d'une façon pittoresque sur les bords des anciennes carrières, que les ouvriers comblent peu à peu par la chute des détritus. Les ouvriers, assis sous ces abris grossiers, taillent, fendent et équarissent la pierre avec adresse et rapidité, tout en fumant et en causant les uns avec les autres. De lourds chariots passent auprès d'eux, conduits par des enfants, et versent, à tour de rôle, à chaque fendeur, les blocs de schiste destinés à la fabrication.

» Descendons les talus ; nous arrivons ainsi aux carrières, larges abîmes au fond desquels le regard plonge avec effroi. Les unes sont abandonnées ; ce sont de vieux fonds, creusés il y a plusieurs siècles, remplis d'une eau verte et froide, et entourés par des ronces chétives qui font à ces lacs une maigre couronne. Les autres sont pleins de bruits sonores. Ce sont les ardoisières en activité, sans cesse creusées par les ouvriers,

pygmées qu'on aperçoit comme des points noirs, s'agitant à trois cents pieds au-dessous du sol, levant en cadence leurs bras et leurs outils. Avançons-nous sur les bords de l'excavation. Les bassicots destinés à enlever la pierre descendent ou remontent avec lenteur, et leur poids fait trembler la charpente du pan de bois qui nous soutient. Les parois du gouffre sont taillées verticalement sur deux côtés, et en gradins sur les deux autres; les échelles, disposées à pic, sont entourées d'une solide balustrade en forme de boîte, pour éviter les accidents.

» Nous distiguons peu à peu différents groupes : trois ou quatre ouvriers d'en bas creusent lentement un trou de mine ; cinq ou six autres abattent à la pointe un bloc de rocher ; les journaliers rangent la pierre dans les bassicots vides, qu'ils font rouler ensuite jusqu'à la portée des câbles ; le plus grand nombre est occupé à la foncée centrale qui traverse le fond. On entend les commandements du clerc d'en bas et le choc des outils ; de temps en temps, à un cri connu, tous les ouvriers quittent leurs chantiers et se réunissent en un point écarté du fond, fixant leurs yeux sur une longue mèche qui pénètre dans le schiste et fume lentement. Tout à coup, le rocher s'abat, la chute retentit dans la carrière et l'écho du déchirement nous arrive longtemps après. Déjà les travailleurs ont repris leur place et leur tâche interrompue.

» Entrons maintenant dans un bassicot vide, et accompagnés du régisseur ou du clerc d'en bas, allons visiter une galerie ou carrière souterraine. Nous descendons d'abord dans un puisard obscur ; la nuit se fait autour de nous. Après un long trajet, les parois s'écartent tout à coup, nous glissons dans une vaste excavation éclairée à la lumière électrique. L'aspect en est fantastique, et cependant c'est une ardoisière semblable à celle que nous décrivions tout à l'heure, avec cette seule différence qu'au lieu d'être à ciel ouvert elle a été creusée sous le rocher qui forme la voûte. La pierre remonte par le puisard, et les ouvriers exécutent les mêmes travaux de fonçage et d'abatage. Mais aucune narration ne peut rendre exactement l'effet produit sur l'imagination du visiteur par le gouffre souterrain, les

cavernes retentissantes, les chocs des pics et des barres de fer, les explosions soudaines, les bruits roulant dans les sombres profondeurs. »

En dehors des Ardennes et de la Bretagne, il existe encore d'autres ardoisières, mais beaucoup moins importantes, dans le Plateau Central, les Alpes (Cévins, dans la Savoie) et les Pyrénées (Labassère et Lourdes).

L'Angleterre possède les plus vastes ardoisières du monde, au nord du Pays de Galles, en Écosse et en Irlande. Les plus remarquables sont celles de Bangor et de l'île de Valentia. La violence des vents oblige les Anglais à couvrir les toitures avec des ardoises lourdes et de grandes dimensions.

Signalons enfin les ardoisères de Chiavari, dans la Sardaigne, remarquables par la beauté de leurs produits, de Mariathal dans la Hongrie, de Vallango dans le Portugal et celles des Cosaques du Don, en Russie.

IX. — SILICES ET PIERRES DURES.

La silice se présente sous des formes très variées. A l'état anhydre, elle se nomme *quartz* ou *jaspe*, selon qu'elle est transparente ou opaque ; à l'état hydraté, elle s'appelle *silex*. Elle porte des noms différents selon ses divers aspects.

Le quartz est principalement utilisé dans la joaillerie et nous aurons l'occasion d'en reparler plus tard. Quant au jaspe, il est employé comme pierre d'ornementation. Le jaspe sanguin de Saint-Gervais, dans la Haute-Savoie, a servi à faire les douze grandes colonnes du Nouvel Opéra de Paris. Cette pierre remarquable, très abondante, se trouve en blocs de toutes dimensions. On l'utilise aussi pour fabriquer des objets d'ornement, des socles de pendule, des objets d'art et de fantaisie. Il prend un éclat superbe par le polissage. On trouve dans l'Oural et l'Altaï, en Sibérie, des blocs de jaspe atteignant jusqu'à cent mètres de hauteur. On en fabrique, dans les manufactures impériales de Kolivan et d'Ékaterinembourg, des œuvres d'art offertes en présent à des princes et à des personnages distingués.

On trouve dans les Montagnes-Rocheuses, aux États-Unis, et principalement dans la région de l'Arizona désignée sous le nom de *parc de Calcédoine*, des bois silicifiés auxquels le polissage communique un aspect superbe et qu'on utilise comme pierres d'ornementation. Il existe dans le parc de Calcédoine un arbre silicifié formant un pont de trente mètres de longueur. Ces bois silicifiés se rencontrent également dans plusieurs autres pays, notamment en France.

L'*agate*, la *calcédoine*, l'*onyx* sont des variétés de quartz qu'on utilise comme pierres d'ornementation.

La silice hydratée se nomme *silex* ou *pierre à fusil*, *meulière*, *geysérite*, *tripoli*, selon ses différents aspects. L'*opale*, autre forme de silice hydratée, est une pierre précieuse employée en joaillerie.

La silice forme avec les oxydes métalliques des roches utilisées dans la joaillerie, la bijouterie, et comme pierres d'ornementation. Parmi ces pierres d'ornementation, signalons particulièrement le *jade* ou *néphrite* et la *rhodonite*. La première de ces roches passait jadis pour souveraine contre l'affection de la *pierre*, d'où son nom de *néphrite*.

Le *jade*, silicate d'alumine et de chaux, est vert pâle, olivâtre ou blanc laiteux. Celui de Chine, trouvé principalement en cailloux roulés à Yarkende, dans une rivière de la province de Yu-Thian, est blanc. On le pêche au fond des eaux, pour le compte du gouvernement.

On recherche beaucoup le jade laiteux, veiné de vert, de la Sibérie Orientale. A signaler aussi le jade vert émeraude de Sumatra, le jade vert foncé d'Allemagne, de Suisse, d'Égypte, de l'Himalaya et de la Nouvelle-Zélande.

La *rhodonite* (silicate de manganèse) se rencontre principalement dans l'Oural.

Sable et grès. — Le sable est formé par de petits cristaux de quartz qui faisaient partie des roches cristallines, granits, gneiss, micaschistes, porphyres, isolés à la suite de la désagrégation de ces roches par les éléments de l'atmosphère. Outre le sable quartzeux, on trouve aussi du sable calcaire, résultant de la

démolition des roches calcaires ; on le distingue facilement du sable quartzeux par son effervescence avec les acides. Souvent aussi ces deux espèces de sable se rencontrent mélangées ensemble. Le sablon est du sable excessivement fin.

Les sables, principalement ceux des rivières, servent à la fabrication des mortiers. Pour mouler les pièces des fonderies, on utilise des sables siliceux, mélangés avec de l'argile non calcaire et non pyriteuse. Les verreries et les fabriques de poterie font usage de sable quartzeux. Signalons aussi l'emploi du sable pour le pavage des rues et l'entretien des allées de jardin.

Certaines rivières, la Loire par exemple, constituent des mines inépuisables de sable ; de même des plages de la mer. Les gisements de sable abondent dans les terrains géologiques récents : les sables de Fontainebleau, de Nemours, de la Champagne, d'Excideuil en Dordogne, sont très renommés pour leur pureté.

Les grès résultent de l'agglomération des grains de sable par un ciment siliceux, calcaire ou parfois ferrugineux, d'où les dénominations de grès siliceux, grès calcaire, etc. Les grès abondent aussi dans les terrains géologiques récents. Les grès siliceux de la forêt de Fontainebleau sont particulièrement renommés.

Le grès est employé dans maints travaux de construction, pour le pavage des rues et pour fabriquer des meules à repasser les outils. Pour ce dernier usage, il doit être à grains très fins.

On désigne, sous le nom de *molasse*, des grès calcaires abondants dans les bassins de la Gironde, de l'Aude, le delta du Rhône, et particulièrement le long des Alpes. Les molasses servent de matériaux de construction.

Certains grès peuvent être utilisés pour l'ornementation, par exemple les grès bruns du Connecticut, aux États-Unis.

Silex ou pierre à fusil. — Le silex avait jadis un important débouché comme pierre à fusil. Saint-Aignan, au sud du Loir-et-Cher, fournissait des pierres à fusil à toutes les armées de l'Europe, mais la découverte des fulminates a ruiné cette petite industrie. Le silex sert actuellement à faire des briquets, devenus

bien rares depuis l'invention des allumettes chimiques, à empierrer les routes et à fabriquer certaines poteries. Les Anglais viennent prendre sur les côtes de la Normandie, particulièrement à Dieppe, les galets de silex nécessaires pour la fabrication de leur faïence fine.

Les silex abondent partout où se trouve la craie blanche et dans les terrains qui résultent du remaniement de la craie par les eaux. Le Midi de la France est beaucoup moins riche en silex que le Nord.

Meulière. — La pierre meulière est un silex caverneux, à cavités remplies d'argile ferrugineuse. On la trouve exclusivement dans les terrains superficiels, d'où l'on déduit qu'elle résulte de l'altération des calcaires siliceux sous l'influence des agents atmosphériques.

La pierre meulière sert pour les constructions; elle offre une grande résistance à l'écrasement et prend facilement le mortier à cause de sa porosité. Quant elle présente des qualités spéciales, on l'utilise pour fabriquer des meules de moulin, d'où son nom de pierre meulière. Pour extraire les meules, on fait une rainure circulaire dans le massif de pierre meulière, de façon à isoler la masse à extraire; puis on enfonce des coins de bois dans cette rainure, et l'on mouille. Le bois, augmentant de volume par l'humidité, détache la meule par sa base.

La pierre meulière, abondante dans les environs de Paris, fournit d'excellents matériaux de construction. On en trouve dans les vallées de la Bièvre, de l'Yvette, de l'Orge, sur les plateaux de Meudon, de Montmorency, de Villeneuve-Saint-Georges. On exploite à Provins et à La Ferté-sous-Jouarre, en Seine-et-Marne, les meilleures meules de moulin existant au monde; ces gisements sont presque épuisés.

On exploite aussi dans la Vienne, à Vouneuil-sur-Vienne et à Coussay-les-Bois, des meulières très renommées, dites de Lusigny. La pierre de Lusigny, l'une des meilleures de France, très dure, excelle pour broyer les os. Un vrai meunier emploie une meule de La Ferté, tournant avec une meule de Lusigny. Citons aussi, d'une façon particulière, les meules de la Marne,

de l'Aisne, de l'Eure (Sainte-Colombe, près de Vernon), de l'Eure-et-Loir, de l'Indre-et-Loire (Cinq-Mars, près de Tours), de la Gironde.

Geysérite. — Ce sont des dépôts siliceux formés par des sources riches en silice. On en trouve un bel exemple à Champigny, près de Paris. Ces pierres dures servent surtout à empierrer les routes, et parfois à construire des motifs de décoration pour jardins, quand leur forme est capricieuse et leur coloration vive.

Le nom de *geysérite* vient de leur analogie avec les dépôts des fameuses sources jaillissantes ou *geysers* de l'Islande et des États-Unis.

Tripoli. — Le tripoli, poudre siliceuse, très dure, servant à polir, possède une origine variable.

On trouve en Allemagne, à Celle dans le Hanovre et à Klicken (duché d'Anhalt), une silice hydratée, terreuse, composée de squelettes d'infusoires. Cette silice occupe, sous des masses de sable, la cavité de cuvettes ayant jusqu'à 20 mètres d'épaisseur. Les couches supérieures sont blanches ou grises ; les couches inférieures ont une coloration verte, due à la présence de débris de fleurs de sapin, de boutons et de feuilles de divers autres végétaux. On utilise ce sable fin pour la fabrication de la dynamite, car il possède des propriétés très absorbantes. Étant mauvais conducteur de la chaleur, on s'en sert également pour faire des calorifuges, protéger les coffres-forts contre le feu et conserver la glace. On en fabrique des produits réfractaires. Cette même substance s'exploite aussi à Ceyssat, dans le Puy-de-Dôme, sous le nom de *randanite*, à Marsanne dans la Drôme, à Bilin en Bohême, etc.

Les autres variétés de tripoli ont une autre origine. Celui de Corfou, en Grèce, dit de *Venise*, est seul employé dans les arts. Signalons aussi le tripoli de Saint-Marin, en Italie, et les exploitations françaises de l'Ardèche, de la Drôme, du Puy-de-Dôme et de l'Ille-et-Vilaine. Le tripoli de Poligné, près de Rennes, d'une teinte rouge, se trouve au milieu d'arbres silicifiés. Celui de Ménat, dans le Puy-de-Dôme, résulte de la calcination de schistes

bitumineux, modifiés par le feu. On en fabrique artificiellement dans la préparation du bitume.

Pierres dures pour le polissage. — Le tripoli n'est pas la seule substance employée pour le polissage. La poudre de diamant ou *égrisé*, la plus dure, coûte aussi le plus cher ; le *carborandum*, tout récemment découvert, est une sorte de diamant artificiel dont nous reparlerons plus loin. On utilise aussi l'alumine, c'est-à-dire le saphir, le rubis, le corindon, l'émeri ; la pierre ponce qu'on exploite surtout pour cet usage en Italie et à Ténériffe ; le sesquioxyde de fer artificiel ou *colcothar*, obtenu par la calcination du sulfate de fer.

L'émeri, mélange d'alumine et d'oxyde de fer, se trouve dans plusieurs localités. Le plus renommé vient de l'île de Naxos, dans l'Archipel Grec ; il fut longtemps le seul employé et était connu des anciens. On en exploite aussi, dans ce même Archipel, à Paros, à Héraclia et Sikmos, à Nicoria. A citer encore les émeris de Smyrne, de l'Asie Mineure, de Schwarzenbourg en Saxe, de Randa près Grenoble en France, d'Ékaterinembourg dans l'Oural, ceux de l'Inde, de la Chine, le gisement considérable de Chester, aux États-Unis, dans le Massachussets.

On exploite sur le littoral français de l'Océan, entre le Croisic et l'embouchure de la Vilaine, surtout à Piriac, des sables noirs que l'on transforme en émeri dans l'usine de Saint-Nicolas-de-Redon (Loire-Inférieure). On en fabrique des meules artificielles par agglomération avec de la gomme laque. Ces meules artificielles sont aujourd'hui très recherchées.

Quant aux pierres dures à aiguiser, elles proviennent principalement de France, de Belgique, de Prusse, d'Angleterre, d'Italie, de Norvège. La Lombardie, qui possédait jadis le monopole exclusif de ces pierres, a ses carrières aujourd'hui épuisées ; on se sert actuellement des pierres de Saint-Girons, dans les Pyrénées. Le calcaire siliceux de la province de Thelemarken, en Suède, est activement recherché pour la fabrication des meules artificielles.

X. — ROCHES GRANITIQUES ET ÉRUPTIVES.

Chose singulière, l'art de bâtir, vieux comme le monde, atteignit la perfection dès les âges les plus reculés. Les peuples antiques, en Égypte, en Perse, en Mésopotamie, dans l'Inde, employèrent des matériaux plus luxueux que dans les temps modernes. Les Romains bâtissaient pour la postérité, tandis que le XIXe siècle ne laissera que bien peu de souvenirs en fait de monuments durables. Nos matériaux de construction ont généralement une uniformité monotone. Les pierres dures, si recherchées dans l'antiquité, sont trop délaissées aujourd'hui. Il conviendrait de voir Paris renoncer à ses calcaires grossiers, qui résistent mal à l'action destructive de l'air et qui noircissent vite, et employer à profusion le granit et le porphyre si abondants en France.

Les roches granitiques et éruptives, excellentes comme matériaux de construction, se divisent en plusieurs groupes distincts : — les granits, gneiss et micaschistes, variétés d'une même roche cristalline ; — les porphyres ; — les trachytes, basaltes et laves volcaniques actuelles.

Granits. — Le granit se compose du mélange de trois sortes de cristaux : le quartz, le feldspath et le mica. Il comporte plusieurs variétés, suivant les colorations, la nature et la disposition des cristaux.

La *pegmatite* est une sorte de granit, à très gros éléments, où le quartz et le feldspath s'isolent.

Le feldspath s'exploite dans les pegmatites à Bayonne, à Cambo dans les Basses-Pyrénées, à Rosporden et Roscoff dans la Bretagne, dans le Limousin, etc., pour la France ; dans le Cornwall, en Angleterre ; à Naes, près Twedestrand, en Norvège.

Les autres roches granitiques comprennent : le gneiss ou granit feuilleté ; les schistes cristallins (micaschistes, talcschistes, phyllades) ; la syénite ou amphibolite, la protogyne, où l'amphibole et le talc remplacent le mica.

Les roches granitiques occupent de vastes surfaces. Les

granits anciens dominent dans les contrées primitives, comme la Bretagne, la Vendée, le Plateau Central ; les granits porphyroïdes abondent surtout dans les montagnes récentes (Alpes, Pyrénées). Les granits anciens, généralement très durs, donnent à la contrée un aspect monotone ; au contraire, les granits éruptifs se délitent facilement, produisent des sables grossiers ou arènes, et sont l'occasion de paysages agréables, souvent grandioses.

Le granit, les gneiss et les schistes micacés, s'exploitent activement pour les constructions vulgaires dans les régions granitiques ; mais le granit seul, quand il est de bonne qualité, fait l'objet d'une exportation de quelque importance.

Le granit s'emploie comme pierres d'appareil pour les gros œuvres de bâtiment. Difficile à tailler, il ne sert guère dans les constructions que pour les massifs à grande durée ou à grande résistance. Les Égyptiens l'utilisaient beaucoup dans leurs monuments grandioses : ils en faisaient des colonnes, des tombeaux, des obélisques, etc. Les hautes colonnes de la façade du Panthéon, à Paris, sont également en granit ; on a fait usage, pour la construction de l'Opéra, des granits porphyroïdes et micacés de Saint-Martin du Puy et de Lormes, dans la Nièvre.

Pour les usages vulgaires, on débite le granit en plaques exigeant peu de travail ; les granits schistoïdes sont préférés généralement aux variétés massives, parce qu'ils donnent des moellons à surfaces parallèles, employés à faire des pavés, des bordures et des dalles de trottoirs, des seuils, des balcons, des marches d'escalier, des auges, des bassins, des rouleaux, des colonnes, des urnes, des monuments funéraires, des croix, des meules pour huileries, papeteries, etc., etc.

A la place des calcaires, trop fragiles pour l'édification des maisons modernes, on tend à substituer le granit qui leur donne un air de grandeur incomparable. Londres a construit ses palais avec les granits de la côte normande. La facilité des transports contribue à développer l'usage des roches granitiques dans les grandes villes.

La Bretagne possède des granits excellents : à citer le granit

de Saint-Brieuc, fournissant de belles croix monolithes pour calvaires, les célèbres carrières de l'Aber-Ildut, dans le Finistère, dont le granit rose forme le piédestal de l'obélisque de Louqsor qui décore si magistralement la place de la Concorde, à Paris. Dans la Mayenne, la chaîne des Coëvrons, près de Vitré, renferme de superbes granits bleus. Le département de la Manche est également riche en beaux granits. La variété rose, à grands cristaux, sert à la construction des édifices ; la variété grise, plus résistante, s'expédie à Paris pour dalles et bordures de trottoirs. Le granit de Flamainville a servi à la construction de la digue de Cherbourg. Plus au Sud, les environs de Granville, particulièrement les îles Chausey, fournissent également un granit excellent.

Signalons enfin les granits des Vosges et du Mont-Blanc.

L'Angleterre, qui fait beaucoup plus usage du granit que la France, extrait cette pierre de l'Écosse, de la Cornouaille et des îles anglo-françaises de la Manche.

Les granits de la Corse, très remarquables, ne sont pas exploités; de même pour ceux de l'Algérie. A citer les granits splendides du lac Majeur, en Italie, ceux de la Norvège, d'Hangoë près Saint-Pétersbourg, de Migueï près de la mer Noire, en Russie; de la Haute-Égypte, autrefois employés par les Égyptiens pour leurs constructions gigantesques, ceux du Brésil.

Porphyres. — Les porphyres sont des roches essentiellement feldspathiques, plus ou moins quartzifères. Les diorites, les ophites, le kersanton, les euphotides, les diabases, représentent des variétés de roches porphyriques. Pour les artistes, une roche se nomme porphyrique quand elle est dure, polissable et présente des cristaux disséminés au milieu d'une pâte colorée.

Les porphyres sont recherchés comme pierres d'ornement quand elles ont un beau grain, susceptible de poli. Les anciens en ont fait des colonnes, des tombeaux, des baignoires, des tables, des obélisques. Le musée du Louvre en possède de beaux spécimens. Ils recherchaient surtout les porphyres rouges de l'Égypte. Les porphyres verts servaient à faire des mosaïques,

des pavés et des placages ; les Romains affectionnaient le porphyre bleu.

Le porphyre commun a les mêmes usages que le granit; on l'utilise beaucoup pour pavés et pour empierrer les routes. En Hongrie, on en façonne des meules. Les pharmaciens et les fabricants de couleurs se servent d'une tablette et d'une molette en porphyre pour pulvériser très finement certaines substances.

Quant aux porphyres fins, on les taille et on les polit à l'émeri et au rouge d'Angleterre pour en fabriquer des objets d'ornementation. On a tenté, dans ces dernières années, de fabriquer de grands vases en porphyre, à l'aide du tour et en les usant avec des diamants de peu de valeur; mais ces vases atteignent des prix exagérés.

La France possède quelques beaux porphyres. Citons le porphyre vert de Ternuay, la syénite rouge corail de Servance, la syénite *feuille morte* de cette même localité, roches exploitées dans la Haute-Saône et qui ont servi à la construction du Nouvel Opéra. Les Vosges sont d'ailleurs les plus riches montagnes de France en roches porphyriques : le sarcophage de Napoléon Ier, aux Invalides, provient des Vosges. Le Nouvel Opéra a encore utilisé le porphyre granitoïde brun de Bazoches (Nièvre), et le porphyre granitoïde rouge d'Autun (Saône-et-Loire).

Les porphyres rouges et bleus de l'Esterel, dans le Var, furent exploités par les Romains; il existe encore à Agay des débris de colonnes inachevées. Les mélaphyres et les variolites de l'Esterel ont aussi de la renommée. Il en est de même pour les diallages métalliques d'Arvieu. Le massif breton possède des roches porphyriques capables de servir pour l'ornementation, particulièrement celles de Lamballe et de Trégomart, dans les Côtes-du-Nord. Les porphyres des Coëvrons, dans la Mayenne, susceptibles de poli, donnent lieu à une exploitation importante. Le kersanton, abondant sur les côtes de la rade de Brest, d'une belle couleur brune, prend un beau poli, se conserve bien, se taille facilement et sert pour la construction des monuments de la contrée.

En dehors de la France, mentionnons encore quelques belles

roches porphyriques : à Elfdalen en Suède, où l'on fabrique des vases remarquables, à Weissenstadt dans le Fichtelgebirge en Bavière ; en Russie, où ces roches se font remarquer par leur solidité, leurs couleurs et leurs dimensions considérables ; en Algérie ; au mont Felfela, en Corse ; dans la vallée du Haut-Nil en Égypte, etc.

Signalons le porphyre commun des Ardennes, surtout celui de Lessines, près Ath, en Belgique, fournissant des pavés et du macadam à toutes les régions du Nord où manquent les pierres dures.

Roches volcaniques. — Les roches volcaniques sont activement exploitées dans le Puy-de-Dôme. Les laves grisâtres ou violacées, d'un aspect sombre et sévère, servent aux constructions. Leur texture cellulaire permet de les tailler et leur nature inaltérable les fait résister indéfiniment aux agents atmosphériques. Volvic, dont on exploite les carrières depuis le XIIIe siècle, fournit des pierres de taille à tout le pays voisin, notamment à Clermont. Les laves de Volvic et d'Agde ont été utilisées pour la fabrication des meules de moulin, surtout du temps des Romains. Le trachyte du Puy-de-Dôme et celui du Sarcoui entrent dans la fabrication du verre commun. Les trachytes et les basaltes, riches en phosphore, pourraient servir d'engrais. Les riches plaines de la Limagne doivent leur fertilité à l'apport par le vent des poussières enlevées aux cônes de roches volcaniques. Les phonolites sont employés pour les constructions et surtout comme pierres tégulaires. Les vents violents de l'Auvergne nécessitent l'emploi de matériaux pesants pour les couvertures des édifices.

L'obsidienne est une roche d'origine volcanique. L'obsidienne chatoyante du Caucase, au mont Ararat, est travaillée à Tiflis où l'on en fait des vases et des coupes.

Mica. — Le *mica*, partie constituante des granits, se trouve parfois isolé en grandes masses, surtout dans les pegmatites, sous la forme de blocs irréguliers et de tablettes à six faces. Son nom veut dire *briller*. La coloration du mica est très variable, jaune, brune, rouge, noire, rose, lilas, mais la variété

blanche a seule de l'importance industrielle. Le mica se clive très facilement, c'est-à-dire se divise en lamelles très minces. On s'en sert en Russie pour faire des vitres. Il résiste longtemps à l'action de la chaleur, d'où son emploi pour obtenir des verres de lampe incassables. On l'utilise comme support de la couche de gélatine en photographie, à cause de sa flexibilité, de sa légèreté supérieure à celle du verre. La poussière de mica sert pour fabriquer un papier de tenture d'un éclat vif, et pour préparer une huile lubrifiante, destinée aux grandes machines On mélange, pour cette dernière préparation, du mica finement pulvérisé avec un corps gras, du talc, de la plombagine et du soufre en poudre.

On trouve le mica en très larges lamelles en Sibérie, dans la province de Goyaz au Brésil, dans les États de Massachussets, du New-Hampshire et de la Caroline du Nord aux États-Unis, à North Burgess dans le Canada, dans l'Inde, etc.

Amiante. — L'*amiante* ou *asbeste* se trouve dans les roches granitiques sous la forme de longs filaments très flexibles.

Incombustible, on en fait des mèches inusables pour appareils d'éclairage, des tissus, du papier, du carton pour joints de machines à vapeur qui résistent au feu, des gants, des habits, des cordes pour appareils de sauvetage en cas d'incendie. Les anciens en fabriquaient des linceuls, des nappes et des serviettes qu'on blanchissait simplement en les mettant dans un feu ardent.

En Corse, on mélange de l'amiante à l'argile des poteries pour les rendre plus incassables. On obtient un papier calorifuge en traitant un mélange d'amiante en poudre, d'huile de lin et de caoutchouc comme de la pâte à papier ordinaire. On fait avec l'amiante des filtres pour acides, des feutres pour piles, des peintures et des enduits pour rendre le bois incombustible. M. Garros fabrique aussi une pâte d'amiante, poreuse comme la porcelaine, servant à fabriquer des filtres système Pasteur et des vases poreux pour les piles électriques.

Il est possible de teindre l'amiante. On l'immerge d'abord pendant deux heures dans une solution froide d'albumine très

diluée, on laisse sécher incomplètement, puis on trempe dans le bain de couleur qu'on doit chauffer progressivement jusqu'à 90 degrés.

Birmingham et Harefield, en Angleterre, fabriquent beaucoup d'objets en amiante.

On trouve un peu d'amiante en France, dans les Hautes-Alpes, en Savoie, dans les Pyrénées, en Corse. L'amiante d'Italie, très recherché, a plusieurs mètres de longueur; on l'exploite dans les environs de Milan, à la Valteline, dans la vallée d'Aoste, au Saint-Gothard. En Europe, signalons encore l'amiante d'Écosse, d'Évora en Portugal, de Russie. On trouve dans le district de Goroblagsdat, gouvernement de Perm, et dans l'Oural entre Orembourg et Ékaterinembourg, des collines entières d'amiante non encore exploitées et qu'on peut prendre pour rien.

L'Amérique possède de beaux gisements d'amiante, à Taquaral et Caete, dans la province de Minas, au Brésil, et principalement au Canada. Dans la province de Québec, depuis 1878, on exploite l'amiante dans une quinzaine de mines. On en extrait par an environ 6000 tonnes, expédiées en Angleterre. On en retire aussi de la province d'Ontario. L'amiante du Canada est très fin et très soyeux.

Talc. — Le *talc* est une sorte de mica, gras au toucher, utilisé en poudre dans la ganterie et la cordonnerie sous le nom de *poudre de savon*. On en trouve à Briançon, dans les Alpes.

La *stéatite* ou pierre *ollaire*, roche qui renferme du talc, grasse au toucher, est utilisée pour les constructions calorifuges, dans les foyers des usines et des habitations, pour fabriquer des conduits ou des réservoirs d'eaux chaudes, des vases culinaires ou autres. Elle se façonne comme du bois.

On s'en sert également pour préparer une excellente peinture préservatrice du fer et des carènes de navires, pour adoucir et satiner le papier. La stéatite se trouve en abondance dans les Alpes de la Savoie et de la Suisse, à Alméria en Espagne, au Japon, au Canada, dans le Maryland aux États-Unis, etc.

Les *serpentines*, roches également riches en talc, de teinte verdâtre, servent de pierre d'ornementation et à fabriquer des vases, des ustensiles. Signalons les serpentines du massif des Maures, qu'on travaille à Calavaire (Alpes-Maritimes), celles de Lizard en Angleterre dans le Cornwall, de Portsoy en Écosse, du Canada, d'Ouro-Preto au Brésil, de la Réunion et de la Nouvelle-Calédonie.

XI. — MOSAIQUES.

« La mosaïque, écrivait M. Gourlier dans son *Rapport sur l'Exposition universelle de Londres* de 1851, cet art de tous les temps, de toutes les époques, et en quelque sorte de tous les pays, a pour objet de représenter, d'une manière solide et durable, ou de simples compartiments ou des ornements plus ou moins riches, plus ou moins compliqués, ou des objets de la nature, tels que paysages, fleurs, fruits, édifices, animaux, figures humaines, à peu près dans leurs couleurs propres, et ce, au moyen de pièces de rapport, soit en pierre, marbre ou autres matières minérales naturelles, soit en émail, en porcelaine ou autres produits de l'art, de formes et dimensions assez petites.

» Ces pièces sont fixées entre elles et sur leur support commun par un stuc ou un ciment et composent en résumé une surface toujours polie, susceptible de former des pavages ou dallages plus ou moins riches, des revêtements, des tableaux ou autres parties d'ornementation et de décoration à l'extérieur ou à l'intérieur des édifices et sur des ameublements. »

La mosaïque doit être considérée comme l'art monumental par excellence. Son origine se perd dans la nuit des temps. On en trouve dans les plus anciens monuments de l'Inde, où cet art a peut-être pris naissance. Les Grecs et les Romains en ont fait un très grand usage ; leurs productions avaient un éclat incomparable. Au moyen âge, la mosaïque se réfugia dans les églises, pour carrelage, dallage et objets de piété, mais c'est surtout aux artistes byzantins qu'on a dû tant de belles et riches incrus-

tations sur les autels, les jubés des églises de Constantinople, de Grèce et d'Italie ; les plus belles productions, celles que les artistes prennent pour modèles, se trouvent à Florence, à Venise, à Rome, à Ravenne.

A l'heure actuelle, l'Italie tient sans conteste le premier rang dans le monde pour la fabrication des mosaïques. Les mosaïques de Rome sont constituées par des pièces allongées de marbre, des baguettes d'émaux colorés, d'autres matières colorées, le tout lié en une masse compacte. Les émaux, préparés au moyen de cinquante mille teintes différentes, permettent des nuances admirablement dégradées. Ce genre particulier de mosaïque date seulement du commencement du XVII[e] siècle. A Florence et à Venise, on fait de préférence usage de marbres et de pierres dures : jaspe, quartz, calcédoine, cornaline, agate, lapis-lazuli, cailloux de l'Arno, qu'on cimente sur une table de marbre. A cause de l'inégale dureté de ces diverses pierres, on ne peut polir la mosaïque quand elle est terminée ; on doit polir chaque pierre en particulier et ajuster les surfaces extérieures avec une grande précision.

La France, l'Angleterre et la Russie occupent les premiers rangs après l'Italie. La France possède fort peu de mosaïques anciennes ; Napoléon, au commencement du XIX[e] siècle, créa une école de mosaïque, dont il confia la direction à M. Belloni, élève des plus habiles artistes de Rome et de Florence. Cet artiste a notamment exécuté, au Musée du Louvre, le magnifique tableau en marbre placé devant la niche de la *Melpomène*, d'après les dessins de Gérard. L'État a fait exécuter, dans ces dernières années, de belles mosaïques au Panthéon et dans le musée du Louvre.

L'Angleterre sort à peine de la période des essais. Ses fabriques du Derbyshire et du Devonshire utilisent les marbres du pays et le spath fluor qui abonde dans ces contrées. Le placage s'y fait sur des tables de pierre ou d'ardoises.

La manufacture impériale de Peterhof, en Russie, a également fait appel à des artistes italiens. Un Français, M. Joffriaud, a dirigé à Saint-Pétersbourg une manufacture de mosaïque,

fondée par MM. Demidoff. On utilise beaucoup la malachite, carbonate de cuivre trouvé dans les Indes Orientales, en Chine, à Chessy près de Lyon, mais surtout en Sibérie. Les gisements de Sibérie se trouvent dans les monts Permiens, au sud de Bogolovosk et à Trolovsk. Les blocs, exposés à l'air, se fendent en morceaux d'un quart de kilogramme à 2 kilogrammes au plus. Les mines de Burra-Burra, en Australie, fournissent aussi des blocs de malachite de belles dimensions, de qualité inférieure cependant à celle de la Sibérie. La malachite sert à fabriquer de belles œuvres de décoration.

La plupart des renseignements qui précèdent ont été empruntés au travail déjà cité de M. Gourlier.

CHAPITRE II

INDUSTRIES CHIMIQUES

I. — SEL MARIN.

Le sel marin ou *chlorure de sodium* est extrait des eaux de la mer (où il se trouve en dissolution), des mines de *sel gemme* et des sources salées.

Eaux de la mer. — Les eaux des mers renferment plus ou moins de sel ; un mètre cube contient en moyenne 28 kilos de sel marin. On y trouve encore en dissolution un grand nombre d'autres substances, particulièrement du chlorure de potassium, du chlorure de magnésium, du sulfate de chaux et du sulfate de magnésie.

Le procédé d'extraction du sel marin est très simple. On fait pénétrer les eaux dans une longue suite de bassins peu profonds, nommés *salines* sur les bords de la Méditerranée et *marais salants* sur l'Atlantique. Les eaux laissent déposer leur limon et s'évaporent peu à peu ; elles arrivent enfin dans les derniers bassins, nommés *œillets*, où, suffisamment concentrées et purifiées, elles abandonnent le sel. Ce sel est entassé sur les bords des œillets, sous la forme de grands cônes qu'on recouvre de terre glaise. Abandonné pendant une année à l'action de la pluie qui filtre peu à peu à travers l'enveloppe argileuse, le sel se dépouille de son amertume, due à la présence du chlorure de magnésium qui se dissout lentement. Le sel a encore besoin

d'être purifié pour les besoins de la cuisine dans des *raffineries* établies à proximité de la mer.

On a pendant longtemps rejeté les *eaux-mères*, c'est-à-dire les eaux ayant abandonné le sel marin et contenant encore en dissolution un grand nombre d'autres substances utiles. Actuellement, grâce aux travaux du chimiste Balard, on en extrait du chlorure de potassium, du sulfate de soude et du chlorure de magnésium, employés dans l'industrie.

Sel gemme. — Le sel gemme se rencontre en dépôts considérables, d'une très grande épaisseur, qu'on exploite en galeries souterraines quand le sel est pur ; au contraire, quand il est trop impur et mélangé de matières terreuses, on creuse des cavités dans la masse et on y fait arriver de l'eau qui dissout le sel. Quand l'eau est saturée, on la pompe et on l'évapore pour faire cristalliser le sel.

Le sel gemme a pour origine le dessèchement de vastes bras de mer à la suite des révolutions géologiques, les dépôts salins représentant simplement le résidu de l'évaporation des eaux. La mer Caspienne, vaste lac qui se dessèche lentement, finira un jour par donner naissance à un dépôt de sel gemme.

Sources salées. — Ce sont des sources, formées par des eaux ayant passé à travers des couches de sel gemme dont elles ont dissout une partie. On exploite uniquement les sources saturées de sel, en allant les capter le plus près possible des bancs de sel gemme, avant leur mélange avec des eaux non salées qui les appauvrissent. Les ingénieurs parviennent à suivre très loin le trajet souterrain des sources, puis à les capter au moyen de trous de sondage. On évapore les eaux et on fait cristalliser.

Statistique.

Tableau des principaux pays producteurs (1889).

	Tonnes.
Angleterre	2.342.000
Russie	1.198.000
États-Unis	1.000.000
Inde	1.000.000
Allemagne	911.000

	Tonnes.
France	631.000
Autriche-Hongrie	440.000
Italie	421.000
Espagne	125.000
Roumanie	100.000

On note ensuite le Canada, l'Algérie, la Suisse, etc. On évalue à 8 millions et demi de tonnes la totalité du sel marin extrait chaque année dans le monde entier. Ce sel est utilisé dans l'alimentation, pour la conservation des matières alimentaires et dans l'industrie.

En France, les marais salants, au nombre de quatre mille, sont situés sur les bords de l'Atlantique et de la Méditerranée. L'extraction du sel se fait plus activement dans la Méditerranée, car les étés y sont moins souvent pluvieux et la récolte est moins aléatoire que sur l'Atlantique. De plus, l'utilisation des eaux mères se pratique encore exclusivement dans les marais de la Méditerranée, ce qui augmente beaucoup les profits. La trop grande fréquence des pluies dans les régions septentrionales empêche l'extraction du sel sur les côtes de la Manche ; ces côtes sont d'ailleurs trop élevées pour permettre l'établissement de marais.

Le sel gemme et les sources salées s'exploitent dans les départements de Meurthe-et-Moselle ; celui-ci produit à lui seul les trois quarts du sel gemme extrait en France (Saint-Nicolas-Varangeville, Saint-Laurent, Rosières et Flainval), du Doubs, du Jura, de la Haute-Saône, de la Haute-Garonne, des Landes et des Basses-Pyrénées.

Les mines de sel gemme, au nombre de 23, et les sources salées, au nombre de 5 seulement, se trouvent ainsi situées le long de la frontière orientale et le long des Pyrénées.

Les marais salants ont produit, en 1889, 167 000 tonnes de sel; les mines de sel gemme et les sources 464 000 tonnes. La production des mines augmente chaque année, au détriment des marais salants.

Les établissements Daguin, situés à Saint-Nicolas-Varangeville, livrent au commerce cent tonnes de sel raffiné par jour. Les puits des concessions, de 160 mètres de profondeur, traver-

sent onze couches de sel, d'une puissance totale de 65 mètres d'épaisseur. L'exploitation se fait au pic, dans des galeries souterraines, et aussi par dissolution au moyen de trous de sonde.

La rive droite de l'embouchure de la Loire, à son extrémité la plus avancée dans la mer, au Croisic, possède des marais salants très étendus. Jadis, dix mille paludiers, au costume étrange, y vivaient du produit du sel ; leur importance a bien diminué depuis quelques années. La supériorité incontestée du sel marin de l'Océan pour la salaison de la morue a seule empêché la disparition totale des marais salants de l'Ouest. Par leur abandon, les marais salants deviennent une cause redoutable d'insalubrité ; il faut les convertir en prairies ou en champs cultivés, les planter d'arbres ou encore en faire des parcs à huîtres et des bassins pour l'élevage du poisson.

Plus au sud, dans les îles, particulièrement dans l'île de Ré, on exploite du sel pour les pêcheurs d'Islande et de Terre-Neuve ; Marennes, jadis le plus grand centre de production du sel dans l'Ouest, n'en fait plus aujourd'hui.

La conformation singulière du littoral de la Méditerranée a considérablement favorisé l'établissement des salines. Les principales sont situées dans les départements des Bouches-du-Rhône, du Gard, de l'Aude et de l'Hérault. L'étang de Lavalduc, six fois plus salé que la mer, contient 430 millions de kilogrammes de sel : c'est là une mine inépuisable de sel marin.

Le sel gemme abonde en Algérie, mais on l'exploite à peine, dans deux mines et quatre sources. On retire aussi du sel d'une douzaine de lacs salés, situés dans les provinces d'Oran et de Constantine. Les régions du sud de l'Algérie et de la Tunisie renferment d'immenses dépôts de sel encore inutilisé : c'est la région des *chotts*, couverte jadis par les eaux du golfe de Gabès.

L'Angleterre exploite beaucoup ses mines de sel gemme du Cheshire, du Worcestershire et de l'Irlande.

La Prusse possède des mines remarquables à Stassfurt, Anhalt, Kalicz, dans la Lorraine annexée, la Saxe, et le Hohenzollern. L'exploitation du banc de Stassfurt commença

en 1857 ; l'épaisseur des couches y dépasse 300 mètres, sur une superficie de 1400 kilomètres carrés.

En Autriche, les mines de Wieliczka ont une renommée universelle, car le sel y est d'une grande pureté ; les couches ont une épaisseur de 360 mètres, sur une longueur de 200 lieues, s'étendant jusqu'à la Transylvanie, la Hongrie et la Roumanie. A signaler aussi, en Autriche, les mines de Salzbourg, celles de la Haute-Autriche et du Tyrol.

La Russie exploite du sel gemme en Pologne, sur le prolongement du gisement de Wieliczka, des lacs salés en Crimée, dans la région d'Astrakan, et des sources salées très abondantes à Bakmouth, dans le gouvernement d'Ékaterinoslav.

Toute la région asiatique, à l'est de la Caspienne, abonde d'ailleurs en dépôts salins, analogues à ceux de l'Algérie, attestant l'existence ancienne d'une immense mer intérieure.

La Suisse exploite du sel gemme à Devens et à Bévieux, près de Bex-en-Valais.

L'Italie retire du sel de ses salines de l'Adriatique, de la Calabre et de la Sicile.

Les mines de Cordona, en Espagne, fournissent un sel très pur.

II. — CHLORURE DE POTASSIUM.

Ce chlorure ressemble beaucoup au sel marin. On l'extrait des eaux-mères des marais salants, des mines de Stassfurt en Prusse, des cendres de varechs et des résidus des mélasses ou *vinasses* des betteraves. Les mines de Stassfurt livrent au commerce le chlorure de potassium pour les besoins de l'agriculture. Les couches supérieures de sel gemme renferment en effet des sels de potasse, dont l'importance fut signalée pour la première fois par Henri Rose, en 1859. On trouve successivement, en creusant le sol au moyen de puits jusqu'à la profondeur de 150 à 250 mètres suivant les régions, des couches de *carnalite* (mélange de chlorure de potassium et de magnésium), de *kiésérite* (sulfate de magnésie), de *sylvine* (chlorure de potassium pur) et de *kainite* (sulfates de potasse, de magnésie et

chlorure de magnésium). Des usines, installées à Stassfurt, Kalicz et Leopoldshall, raffinent ces sels et les obtiennent à l'état de pureté.

III. — IODE ET BROME.

L'iode, découvert en 1811 par Courtois, fabricant de salpêtre à Paris, s'extrait des cendres de varechs et des eaux-mères de l'azotate de soude du Chili. L'azotate de soude se trouve en grande quantité dans la province de Tarapaca, au Chili, à une profondeur de quelques mètres seulement au-dessous du sol. Cet azotate est mélangé avec du sulfate de soude, du chlorure de sodium et de l'iodure de sodium. Le minerai, traité par de la vapeur dans une chaudière, est dissous, puis évaporé et enfin mis à cristalliser, ce qui fournit l'azotate de soude. On extrait ensuite le sulfate de soude et le chlorure de sodium des eaux-mères ; on fait ensuite passer un courant de chlore dans les dernières eaux de cristallisation, ce qui précipite l'iode.

L'azotate de soude, traité par l'acide sulfurique, donne l'acide azotique, appelé encore *acide nitrique* ou *eau-forte*.

L'azotate de soude, traité par le chlorure de potassium, fournit l'azotate de potasse, employé pour la fabrication de la poudre de chasse et de mine.

Le brome, découvert en 1825 par Balard, s'extrait des eaux-mères des marais salants, des cendres de varechs et des eaux-mères des salines de Stassfurt. Toutes ces substances contiennent, en effet, des bromures de sodium et de magnésium, dont on retire le brome par distillation avec du bioxyde de manganèse et de l'acide sulfurique. Le brome est principalement fourni par Stassfurt et les usines installées à Freeport, aux États-Unis, près des marais salants.

La production annuelle de l'iode s'élève à environ 250 000 kilos, dont la moitié provient du traitement des varechs sur les côtes d'Écosse et celles de France, de l'Écosse en majeure partie. Le surplus est produit par l'Allemagne. Cet iode, employé par la pharmacie, sert à préparer l'iodure de potassium.

La production du brome monte à 130 000 kilos par an, dont

5000 kilos seulement fournis par la France, le reste venant des États-Unis et de Stassfurt. Ce brome sert à la préparation des bromures de potassium et de sodium, employés en médecine et en photographie.

IV. — SOUFRE.

Le soufre se trouve dans la nature à l'état natif; on en extrait aussi des *pyrites de fer*.

Soufre natif. — Le soufre natif existe dans deux sortes de gisements : dans les *solfatare*, crevasses situées dans le voisinage des volcans, dont les parois sont tapissées de soufre venu de l'intérieur du sol à l'état de vapeurs ; dans les *soufrières*, dépôts de gypse et de calcaire, imprégnés de soufre à l'état de très petits corpuscules.

Les *solfatare* ont fort peu d'importance ; les soufrières produisent la presque totalité du soufre. En Sicile, on met le feu à de grandes meules, formées de blocs de minerai extrait des soufrières : une partie du soufre brûle en produisant des torrents d'acide sulfureux qui empestent le pays ; le reste du soufre fond et coule dans un bassin rempli d'eau. Cette méthode, dite des *calkeroni*, a de graves inconvénients ; on a vainement essayé de substituer la fusion du soufre par la vapeur d'eau surchauffée, ou encore la dissolution du soufre par le sulfure de carbone, mais ces méthodes ont échoué par suite de la cherté du combustible en Sicile.

Le soufre des *calkeroni*, trop impur, doit être raffiné. On le fait bouillir et les vapeurs viennent se condenser dans une vaste chambre froide. Au début, ces vapeurs s'enflamment et remplissent la chambre d'acide sulfureux; puis, quand l'oxygène manque, il se forme des vésicules infiniment petites de soufre, dont les cavités sont remplies d'acide sulfureux. La poudre ainsi obtenue se nomme *fleur de soufre*. On obtient enfin du soufre pur, débarrassé d'acide sulfureux, en fondant la fleur de soufre dans des moules coniques en bois de sapin, ce qui donne le *soufre en canon*.

Les usages du soufre sont très nombreux : fabrication de la

poudre de chasse et de mine, des allumettes chimiques, des emplâtres en pharmacie, de l'acide sulfureux pour la préparation de l'acide sulfurique, scellement du fer dans la pierre, etc. On emploie beaucoup de fleur de soufre contre l'oïdium de la vigne. Signalons aussi la fabrication du *sulfure de carbone* et du *sulfocarbonate de potasse*, très employés contre le phylloxéra. Le sulfure de carbone, liquide obtenu par l'action du soufre sur le charbon chauffé au rouge, possède la propriété de dissoudre les corps gras ; on l'utilise pour le dégraissage des chiffons à machines. Les chiffons sont lavés dans le sulfure de carbone ; ce sulfure distillé abandonne la graisse. On a donc finalement récupéré chiffons neufs, graisse et sulfure de carbone, sans autre dépense que le charbon pour la distillation. Rappelons enfin que le sulfure de carbone est employé pour l'extraction des huiles, le dégraissage des huiles et la vulcanisation du caoutchouc. M. Baxerras-Torres le produit économiquement par la fusion, dans un four électrique, d'un mélange de coke avec de la pyrite de fer, du plâtre et autres sulfates.

La Sicile est la contrée qui fournit le plus de soufre, près de 400 000 tonnes par an. Avant l'invasion de l'oïdium et du phylloxéra, en 1832, ce pays n'en livrait que 46 000 tonnes. On exploite aussi du soufre en Italie, dans la province de Rome, à Pouzzoles près de Naples, et à Bologne. L'Italie possède 403 mines occupant 30 000 ouvriers. Les gisements de Sicile ont une étendue de 250 kilomètres de long, sur une épaisseur de 8 mètres en moyenne. Les couches s'exploitent en galeries souterraines très profondes. Le filon de Bologne, de 25 kilomètres de long, a 285 mètres de profondeur. On trouve beaucoup de sulfate de strontiane dans les soufrières de la Sicile.

En Europe, on exploite encore un peu de soufre en France, aux Tapets près Apt, en Vaucluse, et à Barjac dans le Gard (3000 tonnes en 1889) ; en Espagne, à Lorca et à Teruel, dans la province de Murcie, à Conil près Cadix ; en Autriche, à Swoszowice près Cracovie et à Radobog en Croatie ; en Grèce, dans l'île de Milo.

En dehors de l'Europe, signalons les gisements de Constan-

tine, en Algérie, ceux de la Tripolitaine non exploités, ceux de Djensa près de Suez, sur les bords de la mer Rouge, exploités et aussi riches que ceux de la Sicile, ceux de la province de Rio-Grande au Brésil, du district de Humboldt aux États-Unis, ceux enfin du Japon qui ont fourni 19 000 tonnes en 1888.

Pyrite de fer. — La pyrite de fer, ou bisulfure de fer, de couleur jaune d'or, se recherche maintenant dans tous les pays. On en trouve en France, à Chessy et à Sainbel dans le Rhône, à Alais dans le Gard, à Soyons dans l'Ardèche, à Framont dans les Vosges, dans les terres noires du Soissonnais. La France en produit annuellement pour 6 millions de francs, quantité encore insuffisante; elle doit en demander 180 000 tonnes à l'étranger (1875). Les autres pays producteurs sont : la Belgique (Rocheux), l'Allemagne (Bouxwiller en Alsace, Meggen, Musen, Iserlonh, en Westphalie, le Hartz, Stolbert, Goslar) produisant 20 000 tonnes par an, l'Angleterre (Irlande, comté de Wicklow, Cornwall), l'Italie (Brozzo, en Piémont), l'Espagne (Sierra de Tharsis, province d'Huelva), le Portugal (prolongement du gisement d'Huelva dans la province d'Alemtéjo), le Canada qui en fournit beaucoup aux États-Unis.

La pyrite de fer servit jadis exclusivement à la fabrication du sulfate de fer et de l'alun. Abandonnée à l'air humide, elle se transforme en sulfate de fer ou couperose verte. Son emploi était donc assez limité. Actuellement, elle est employée pour la fabrication du soufre, par distillation en vase clos, et surtout pour obtenir par grillage l'acide sulfureux nécessaire pour la préparation de l'acide sulfurique.

On fabriqua pour la première fois à Fahlun, en Suède, dès 1861, le soufre au moyen de la distillation des pyrites. Quant au grillage de ces mêmes pyrites pour en retirer de l'acide sulfureux, l'initiative de cette méthode revient à MM. Perret, de Lyon, en 1832. Le résidu de la calcination, jadis sans emploi, s'ajoute maintenant dans les hauts-fourneaux aux autres minerais de fer, à la condition d'adjoindre aussi un peu de sel marin pour faciliter la désulfuration. L'usine Washington, à Newcastle, a inauguré cette utilisation d'un résidu abandonné.

Acide sulfurique. — Cet acide possède une importance exceptionnelle dans l'industrie. L'Europe en fabrique annuellement plus de 800 millions de kilos.

Pour l'obtenir, on fait réagir ensemble, dans des chambres de plomb, un mélange d'acide sulfureux, d'acide azotique, d'air et de vapeur d'eau. L'acide sulfureux, préparé jadis par la combustion du soufre, donnait un produit plus pur; l'acide, fourni par le grillage des pyrites, fournit des produits arsenicaux, exige une plus forte proportion d'acide azotique et détériore rapidement les appareils. Le soufre serait donc préféré s'il coûtait moins cher. On dépouille l'acide sulfurique de ses composés arsenicaux par un traitement à l'acide sulfhydrique ou au sulfure de baryum.

Il est essentiel de ne pas perdre les vapeurs nitreuses se dégageant des chambres de plomb; on y parvient au moyen de la tour de *Glover*, large et haute cheminée, remplie de coke imbibé d'acide sulfurique concentré qui dissout les vapeurs nitreuses. L'acide, chargé des vapeurs, est ramené par des pompes dans les chambres de plomb.

Pour concentrer l'acide sulfurique, on l'évapore d'abord dans des chaudières en plomb. On y ajoute un peu d'alcool ou de sulfate d'ammoniaque pour le dépouiller de ses vapeurs nitreuses. La concentration s'achève dans des cornues en verre, chauffées au bain de sable, opération exigeant une grande consommation de houille, ou mieux dans un alambic en platine, recouvert d'or intérieurement. L'or est beaucoup moins attaqué que le platine. On ne peut songer à dorer le platine à cause du manque d'adhérence entre les deux métaux. On procède donc autrement : on verse de l'or fondu sur la surface du platine chauffé au rouge blanc, d'où production d'un alliage très peu attaquable par l'acide sulfurique. On fabrique la cornue avec cet alliage, en ayant soin de mettre l'alliage d'or en dedans. Le prix d'une cornue est de 80 000 francs. Ce procédé fut inventé en 1892 par Hereus, de Hanau, en Allemagne.

V. — INDUSTRIES DE LA SOUDE.

Le carbonate de soude, ou *soude* du commerce, s'emploie surtout pour la fabrication du verre, celle du savon et le dégraissage des tissus.

La soude naturelle ou *natron*, se trouve dans les plaines de la Hongrie, sur les bords de certains lacs de l'Égypte, de l'Arabie, du Thibet, sur les rives de la Caspienne, au Mexique, dans l'Amérique du Sud, etc.

Les cendres de certaines plantes, croissant sur les bords de la mer ou dans des terrains salés, contiennent beaucoup de carbonate de soude. Ces cendres sont traitées par l'eau qui dissout la soude ; on évapore et on fait cristalliser. On traite par cette méthode les cendres des varechs entre Brest et Cherbourg, sur les côtes anglaises, principalement en Écosse. Narbonne, Aigues-Mortes incinèrent les plantes de leurs étangs salés ; l'Espagne et le Portugal cultivent spécialement des *barilles* sur les bords de l'Océan. Ténériffe s'adonne aussi à la culture de plantes à soude.

Toutes ces ressources ne suffisent pas. Quelques années avant la Révolution française, un médecin, nommé Nicolas Leblanc, découvrit une méthode simple pour fabriquer le carbonate de soude. Leblanc, qui aurait pu facilement s'enrichir, abandonna généreusement son brevet pour permettre à la France, privée de soude naturelle par le blocus continental, de fabriquer de la soude artificielle. Il fut ruiné et mourut dans la misère.

Son procédé consiste à calciner dans un four un mélange de sulfate de soude, de carbonate de chaux et de houille. Il fallait autrefois remuer ce mélange à la pelle dans le four, opération fort pénible pour les ouvriers. En Angleterre, en 1862, on a remédié à cet inconvénient par l'emploi des fours tournants, grands cylindres chargés du mélange, et tournant au-dessus du foyer.

Le sulfate de soude s'obtient en chauffant du sel marin avec de l'acide sulfurique dans des fours spéciaux ; il se forme du sulfate de soude et de l'acide chlorhydrique. On trouve aussi

un peu de sulfate de soude naturel dans la vallée de l'Èbre, en Espagne, ainsi qu'en Algérie. On en extrait des eaux-mères des marais salants.

En 1838, Dyar et Hemming, en Angleterre, découvrirent un nouveau procédé de fabrication de la soude artificielle, par l'action de l'acide carbonique sur une dissolution de gaz ammoniac et de sel marin. Ce procédé fut rendu pratique en 1855 par MM. Rolland et Schlœsing, en France, qui construisirent une première usine à Puteaux, près de Paris. MM. Solvay frères ont installé cette fabrication en grand à Varangeville, près de Nancy, en Belgique et en Angleterre. La soude à l'ammoniaque, supplantant bientôt l'ancien procédé Leblanc, diminuera dans une énorme proportion les fabrications de l'acide sulfurique et du sulfate de soude.

La production totale de la soude s'évalue à 300 millions de kilos par an, dont 150 millions pour l'Angleterre et 90 millions pour la France. La seule fabrique Solvay, de Varangeville, produit 30 millions de kilogrammes. Ces chiffres, déjà anciens, sont dépassés aujourd'hui, car l'usine de Varangeville en livre annuellement 70 millions de kilos.

Industries du chlore. — Les industries du chlore constituent une annexe de la fabrication du sulfate de soude, dont l'acide chlorhydrique est un résidu important. On obtient le chlore par l'action de l'acide chlorhydrique sur le bioxyde de manganèse ; Weldon parvint à régénérer le bioxyde, réduisant dès lors la dépense à l'acide chlorhydrique seulement.

Greenwood prépare aussi le chlore en décomposant le sel marin par un courant électrique. La dissolution de sel marin est divisée en deux portions par une plaque poreuse en ardoise. Le chlore se dégage dans le compartiment où l'on a immergé une plaque de cuivre, recouverte de charbon et communiquant avec le pôle positif de la source électrique ; il se forme de la soude caustique sur la plaque de fer immergée dans le second compartiment et communiquant avec le pôle négatif.

L'usine de Salindres, en France, obtient actuellement le chlore par le nouveau procédé Weldon-Péchiney. On y utilise

le chlorure de magnésium des eaux mères des marais salants. Traité par la chaux, le chlorure de magnésium donne de la magnésie, que l'on combine avec du chlorure de magnésium pour obtenir de l'oxychlorure de magnésium. Ce corps, chauffé dans un four avec de l'air, dégage du chlore et de l'acide chlorhydrique, gaz faciles à séparer. Le résidu se compose de magnésie utilisée pour une nouvelle opération.

Le chlore sert à préparer le *chlorure de chaux*, en le faisant agir à froid sur de la chaux. Le chlorure de chaux sert pour décolorer et désinfecter. En mélangeant la dissolution de chlorure de chaux avec du chlorure de potassium ou de sodium, on obtient l'eau de Javel, qui remplace le chlorure de chaux.

Le chlorate de chaux résulte de l'action du chlore sur un mélange chauffé d'eau et de chaux. Le chlorate de potasse ou celui de soude, employés en médecine et dans l'industrie, se préparent en faisant réagir une dissolution de chlorate de chaux sur une dissolution de chlorure de potassium ou de sodium.

MM. Gobbs et Franchot, au Canada, obtiennent le chlorate de potasse par l'électrolyse d'une solution de chlorure de potassium. Une plaque en oxyde de cuivre plonge dans le bain et communique avec le pôle négatif ; cet oxyde cède son oxygène pour produire le chlorate et se transforme en cuivre qu'on réoxyde pour un nouvel usage.

A Salindres, M. Weldon prépare le chlorate de potasse par l'action du chlore sur de la magnésie en poudre, tenue en suspension dans l'eau. Il se produit un mélange de chlorate de magnésie et du chlorure de magnésium. On fait cristalliser : il se sépare des cristaux de chlorure de magnésium, tandis que le chlorate de magnésie et un peu de chlorure de magnésium restent en dissolution. On se débarrasse de ces chlorures par un traitement à la magnésie, d'où formation d'un oxychlorure de magnésium insoluble. On traite enfin la dissolution de chlorate de magnésie par le chlorure de potassium : il se produit du chlorate de potasse et du chlorure de magnésium qu'on utilise pour la préparation du chlore.

CHAPITRE III

ENGRAIS CHIMIQUES

« L'engrais, dit M. Déhérain, est la matière utile à la plante qui manque au sol. » Cette matière peut faire défaut à cause de la constitution géologique du sol, mais surtout parce que chaque récolte, vendue et transportée hors de la ferme, enlève quelque chose d'essentiel à la terre ; il faut donc lui restituer ce quelque chose.

Pour avoir méconnu ces principes, les peuples si civilisés de la Mésopotamie et de la Perse, de l'Asie Mineure, et plus récemment les Grecs et les Romains, ont fini par épuiser la fertilité de leurs champs et transformé en déserts des contrées jadis luxuriantes. Telle est en grande partie la cause de la migration des civilisations antiques.

En Chine, au contraire, grâce à une sage prévoyance et à l'abondance des engrais, la terre demeure fertile malgré une civilisation de plusieurs milliers d'années. On trouve en Chine la plus admirable agriculture et la population la plus dense ; certaines régions nourrissent cinq à six fois plus d'habitants que les contrées les plus peuplées de l'Europe. L'Europe, encore à l'état d'enfance pour l'agriculture, doit aller puiser ses enseignements dans ce pays.

Lavoisier, à la fin du XVIIIe siècle, fit les premières recherches expérimentales sur les engrais. Il acheta une ferme entre Blois et Vendôme, mais toutes ses tentatives échouèrent. Mathieu de

Dombasle, ruiné par ses tentatives industrielles, voulut également regagner une fortune par une culture scientifique de sa ferme de Roville, où il fonda le premier institut agricole. Il essaya des plantes nouvelles, employa les instruments les plus perfectionnés, inventa même une charrue, mais fut bafoué pendant le reste de sa vie et acheva de se ruiner.

D'autres hommes courageux continuèrent la lutte, tant en France qu'en Angleterre. Les progrès furent lents, mais on a enfin trouvé les véritables principes de l'emploi des engrais. On est parvenu à faire produire aux fermes le plus de viande et de lait possible, à supprimer les jachères, à développer les cultures industrielles, à augmenter les rendements et à élever les salaires des ouvriers. Pour ne citer qu'un exemple, MM. Déhérain et Porion, dans le nord de la France, grâce à l'emploi judicieux des engrais chimiques, ont obtenu 40 quintaux de grains à l'hectare, alors que la moyenne du rendement s'élève seulement à 12 quintaux. Il a fallu modifier la nature du sol, mieux travailler la terre et employer des semences choisies.

D'après M. Georges Ville, auquel la science des engrais doit beaucoup, les plantes se divisent en trois classes : celles exigeant surtout de l'azote (froment, colza, betterave), celles exigeant surtout de la potasse (tabac, pomme de terre, vigne), celles enfin exigeant surtout du phosphate de chaux (canne à sucre, etc.).

De là M. Ville a déduit la nécessité de composer des engrais variables suivant la nature du terrain et le genre de la plante cultivée. L'engrais *complet* renferme tous les éléments minéraux fertilisateurs : azote, phosphore, chaux, potasse, avec excès de l'un des éléments, dit *dominant*, suivant les cas. L'engrais est dit *intensif* quand le dominant se trouve en très grand excès. Il est dit *incomplet* quand il manque certains éléments inutiles. Enfin, l'engrais se nomme à *fonction spécifique* quand il est destiné à agir sur une partie spéciale de la plante. Par exemple, le sulfate de potasse développe beaucoup les feuilles du maïs, tandis que le chlorure de potassium développe surtout les graines.

Engrais végétaux. — On utilise comme engrais les résidus de

beaucoup d'industries : tourteaux d'extraction des huiles de lin, de colza, d'arachide, de sésame, d'olive, etc. ; pulpes de betterave ; marcs de raisin, de pomme, de houblon ; eaux de rouissage du lin et du chanvre ; eaux des féculeries, etc., etc.

On se sert, sur les côtes de Bretagne et d'Angleterre, des varechs ou goémons rejetés par la mer sur les rivages. Les énormes *fucus*, atteignant jusqu'à 360 mètres de longueur dans la mer des Sargasses, entre l'Afrique et l'Amérique, pourraient être également utilisés. Ces fucus, recouvrant une surface égale à huit fois celle de la France, constituent une mine inépuisable de potasse et d'iode. On fumerait les champs de l'Europe entière, avec les trois milliards de tonnes d'engrais qu'on pourrait en extraire.

Engrais animaux. — Ils sont supérieurs aux engrais végétaux. On se sert des résidus de poissons, surtout en Norvège, des résidus de viandes, du sang. On jette sottement chaque année à la mer, dans les pêcheries de Terre-Neuve, 700 000 tonnes de débris de poissons, capables de fumer 450 000 hectares de terre. Dans l'Amérique du Sud, on fabrique de l'engrais en mélangeant des os calcinés avec du sang et des débris de chair. Les Chinois prétendent féconder les semences en les recouvrant de paille, réduite en poudre avec du sang de porc séché et pulvérisé (?).

La poudre d'os, les résidus de noir animal, constituent un excellent engrais. La poudre de corne excelle pour féconder les prairies.

Les déjections constituent les meilleurs engrais animaux : fumier de ferme, fiente des pigeons et des animaux de basse-cour, guano et déjections humaines.

Le guano, résultat de la fermentation des excréments d'oiseaux qui pullulent sur les îles du Pacifique, a été signalé au commencement du XIXe siècle par de Humboldt, aux îles Chinchas et Lobos, au Chili et au Pérou, mais son exploitation date seulement de 1842. En 1867, il en fut extrait 350 000 tonnes, d'une valeur de cent millions de francs. Cette source immense de richesse est maintenant épuisée. On exploite aussi du guano de chauves-souris dans certaines cavernes des îles Lucayes, des

îles de la mer des Antilles, au Texas, en Virginie, dans la mer des Indes, etc.

Les déjections humaines constituent peut-être le plus puissant engrais ; aussi les utilise-t-on, surtout depuis les travaux de M. Schattenmann, industriel alsacien. Abandonnées à elles-mêmes, elles se putréfient, en donnant un résidu solide, nommé *poudrette*, et une dissolution de carbonate d'ammoniaque, nommée *eaux vannes*. En distillant ces eaux vannes avec de la chaux, on obtient du gaz ammoniac qu'on neutralise par l'acide sulfurique, d'où production de *sulfate d'ammoniaque*. Le sulfate d'ammoniaque se transforme en nitrate dans le sol et constitue un excellent engrais.

Cette fabrication a pris un très grand développement. A Paris, les déjections humaines sont transportées à Bondy, à l'aide de bateaux ou par un tube de refoulement allant de la Villette au dépotoir de Bondy. La fermentation dure trois ans, dégageant une odeur nauséabonde dans toute cette région de la banlieue de la capitale. On a tenté de remédier à cet inconvénient en désinfectant les matières fécales avec du phosphate acide de magnésie et de fer, comme l'ont indiqué MM. Blanchard et Château, mais ce procédé est trop onéreux. M. Renard, transformant la poudrette en briquettes, rend le transport plus facile.

Les eaux d'égout constituent aussi un engrais puissant. En 1820, la ville de Londres pratiqua pour la première fois le *tout à l'égout*, mais la Tamise fut infectée et bientôt éclata une épouvantable épidémie de choléra. Liebig, en Allemagne, proposa de déverser les eaux d'égout, non plus dans les cours d'eau, mais dans de vastes terrains où elles s'infiltrent dans le sol, se dépouillent des matières organiques au profit des cultures et retombent purifiées dans une rivière. Cette idée de Liebig a été mise à exécution à Londres, où les eaux d'égout se déversent actuellement dans les sables de Maplin, à l'embouchure de la Tamise. Paris a imité la ville de Londres en irriguant la presqu'île de Gennevilliers.

Les boues de balayage donnent un engrais excellent pour les

vignes, les légumes et les arbres fruitiers, à la condition de les laisser fermenter à l'air pendant six mois. M. L'Hôte prépare du sulfate d'ammoniaque au moyen du gaz ammoniac, obtenu en chauffant des déchets de laine, de peau, de cuir, de cornes, de plumes, d'éponge, avec de la soude caustique.

Engrais minéraux. — On utilise beaucoup comme engrais, sur les côtes de la Bretagne, surtout dans la baie du Mont-Saint-Michel, une boue calcaire ou *tangue*, produite par la mer et formée de roches et de coquilles pulvérisées. Cet usage ne remonte qu'au XVIIIe siècle. Aux États-Unis, on utilise aussi la *glauconie*, matière minérale riche en potasse, qu'on trouve en abondance également en France à la base du terrain crétacé.

En réalité, les véritables engrais minéraux sont : le chlorure de potassium, le sulfate d'ammoniaque, l'azotate de soude et le phosphate de chaux. Nous avons déjà parlé de la fabrication du sulfate d'ammoniaque, obtenu principalement avec les eaux-vannes et les eaux d'épuration du gaz d'éclairage.

Le chlorure de potassium provient surtout des mines de sel gemme de Stassfurt, en Prusse. Il en existe aussi un gisement puissant à Maman, en Perse. Balard a donné le moyen d'en extraire de grandes quantités des eaux-mères des marais salants. M. Gindre en obtient également en traitant le feldspath des roches granitiques par la chaux. Le carbonate de potasse des cendres de bois constitue aussi un bon engrais. On extrait beaucoup de sels de potasse par le lavage des laines de mouton (suint) et avec les résidus de la fabrication du sucre de betterave (salin).

L'azotate de soude s'extrait du sol au Chili. On peut aussi se procurer artificiellement des nitrates en exposant à l'air de vieux matériaux de construction, contenant de la chaux, qu'on mélange avec du fumier. Les ferments nitrificateurs du fumier se développent, combinent l'azote et l'oxygène de l'air pour produire de l'acide azotique qui s'unit à la chaux. Cette nitrification s'opère naturellement et en grand dans certaines régions, à la surface du sol, en Égypte, aux Indes, en Espagne, en Belgique, ou encore dans les caves et sur les murs humides. On pourrait

peut-être installer de vastes salpêtrières naturelles sur les terrains crayeux de la Champagne.

L'exploitation du phosphate de chaux a pris un énorme développement. En 1818, Berthier attira l'attention des chimistes sur la présence du phosphate de chaux dans la craie de Vissant, dans le Pas-de-Calais. Plus tard, vers 1848, l'Anglais Buckland reconnut l'action du phosphate de chaux sur les végétaux; on se mit aussitôt à rechercher partout cette substance. Le duc de Richmond, en Angleterre, et Liebig, en Allemagne, recommandèrent de traiter le phosphate de chaux par l'acide sulfurique, de manière à le transformer en *superphosphate*, soluble dans l'eau et plus absorbable par les racines des végétaux. En France, on préfère réduire le phosphate de chaux en poudre et le mélanger avec du fumier. On recherche actuellement le phosphate de chaux sous toutes ses formes naturelles : à l'état d'*apatite*, dans les filons, à l'état de nodules, de coprolithes, de grains, au milieu des terrains crétacés.

En 1889, la France a extrait 180 000 tonnes de phosphate de chaux, d'une valeur de 13 millions de francs. A partir de 1855, M. Desailly entreprit la première exploitation régulière, à Grandpré, dans les Ardennes, après les découvertes de M. Meugy. Des Ardennes, les exploitations s'étendirent peu à peu à la Meuse et à la Marne, puis au Nord, au Pas-de-Calais. On trouve actuellement des carrières dans une quarantaine de départements ; les plus importantes sont situées dans le Pas-de-Calais, les Ardennes, la Meuse, la Marne, la Haute-Marne, l'Aube, l'Yonne et les Alpes-Maritimes. En 1887, on découvrit dans la Somme, à Beauval, Hallencourt, Beauquesne, Terrasmesnil, Puchevillers, etc., des sables phosphatés. Ces sables, dont on ignorait alors la véritable valeur, servaient à fabriquer le mortier. Les terrains, vendus jusqu'alors 500 francs l'hectare, trouvèrent immédiatement acquéreur à 20 000 et même à 80 000 francs l'hectare. On a également trouvé des sables phosphatés dans le département du Nord, à Neuvilly, Monton, Briasla, Viesly, Quiévy, etc. Tous ces sables sont accumulés dans des poches coniques et irrégulières, creusées au milieu de la craie.

On trouve de riches gisements de phosphate de chaux en Tunisie, sur les versants de la chaîne occidentale de Gafsa. Ces gisements se prolongent en Algérie, dans le massif de Dekma, dans la province de Constantine.

En Europe, signalons les exploitations de la Belgique, dans les provinces du Hainaut et de Namur (160 000 tonnes en 1889), à Ciply près de Mons, Saint-Symphorien, Havré, Vedrin, etc. ; en Espagne, les apatites en filons de l'Estramadure, les phosphorites des provinces de Cacérès et de Murcie, qui se continuent jusque dans le Portugal, à Alemtéjo ; en Allemagne, les gisements dans le bassin houiller de la Westphalie et dans les minerais de fer du Nassau ; en Russie, les gisements de Koursk, s'étendant sur une longueur de 150 kilomètres ; en Angleterre, les exploitations de nodules crétacés dans les comtés de Cambridge, de Suffolk et de Bedford ; en Suède et en Norvège, quelques gisements également remarquables.

En Amérique, on exploite surtout le phosphate de chaux dans la Floride, aux États-Unis, et au Canada. Les gisements de la Floride, découverts en 1881 par un ingénieur français, M. Le Baron, en creusant un canal, produisent actuellement 200 000 tonnes par an. Au Canada, on trouve des filons puissants d'apatite et de fluorure de calcium dans le comté d'Otawa, province d'Ontario. On exploite également de l'apatite dans les Antilles, aux îles Navassa et Sombrero.

On a songé, dans ces dernières années, à utiliser les scories des usines qui emploient le procédé Thomas-Gilchrist pour déphosphorer le fer, ces scories étant riches en phosphore. Les usines de Longwy et de Joeff, en Meurthe-et-Moselle, de Valenciennes et du Creusot, livrent annuellement 40 000 tonnes de scories aux agriculteurs. M. Davy, ingénieur civil des mines à Châteaubriant, dans la Loire-Inférieure, conseille également d'employer les scories des anciennes forges gallo-romaines, si abondantes dans certaines régions.

CHAPITRE IV

EAUX MINÉRALES

Les hommes ont reconnu, depuis la plus haute antiquité, l'action bienfaisante des eaux sur l'organisme humain. Les sources, venant de l'intérieur de la terre, ont davantage influencé l'imagination par leur origine mystérieuse ; de là, les légendes sur la fontaine de Jouvence et autres sources miraculeuses, célèbres dans l'antiquité. Les Romains, très amateurs des eaux minérales et des bains de mer, en faisaient une occasion de voyages et de parties de plaisir. Nos goûts, raffinés par la civilisation après une longue suite de siècles, nous ont ramenés, à l'époque actuelle, au même état que se trouvaient les Romains au moment de l'invasion des barbares. On voit, dans les environs de Naples, les ruines grandioses des villas que les habitants de Rome venaient habiter à la belle saison ; de même on découvrira plus tard, à Trouville et sur les côtes de la Manche, les ruines des villas des Parisiens. Les Romains savaient admirablement capter les sources minérales, ainsi que l'attestent les ruines encore existantes en France et en Italie dans les plus célèbres stations balnéaires.

Outre leur action curative, certaine dans quelques cas, problématique dans d'autres, les eaux minérales et les bains de mer ont surtout le grand avantage de développer le goût des voyages et le luxe en général, d'occasionner un grand déplacement de capitaux par la construction des nouvelles voies de communica-

tion. Certains villages, encore inconnus il y a à peine quelques années, sont devenus aujourd'hui des cités superbes.

Les eaux minérales sont dites *thermales* quand leur température s'élève de quelques degrés au-dessus de la température des sources ordinaires. Les savants expliquent cette élévation de température par plusieurs causes. Elle peut être due, dans certains cas particuliers, à une réaction chimique. Rochas d'Aiglun, médecin de Louis XIII, creusa un tunnel le long d'une source thermale du mont Viso, et reconnut nettement que l'eau devenait chaude par son passage à travers une couche de pyrite de fer. Dans les régions volcaniques, où abondent les eaux thermales, la chaleur provient évidemment de la haute température du sous-sol. D'après Laplace, les eaux, venant d'une grande profondeur, doivent être chaudes, puisque la température croît régulièrement à mesure qu'on pénètre plus profondément dans les couches terrestres. Élie de Beaumont a émis à son tour une hypothèse plus hardie : les eaux pluviales s'infiltrent peu à peu dans le sol et descendent jusqu'au point où, vaporisées par le feu central, elles rejaillissent à la surface de la terre.

On divise les eaux minérales en sept classes, d'après la nature des substances qu'elles contiennent :

Eaux acidulées, acide carbonique en dissolution ;

Eaux alcalines, bicarbonate de soude ;

Eaux chlorurées, chlorures, principalement du sel marin ;

Eaux purgatives, sulfate de soude, sels de magnésie ;

Eaux sulfureuses, acide sulfhydrique ou sulfures alcalins ;

Eaux ferrugineuses, carbonate de fer, dissous à la faveur de l'acide carbonique, facile à reconnaître à la rouille laissée par les eaux sur leur passage ;

Eaux bromurées et iodurées, bromures et iodures.

Les eaux minérales perdent de leur efficacité peu de temps après leur sortie de la source. Il faut en conclure que les sels minéraux, tenus en dissolution, ne sont pas les seuls agents actifs ; la plupart renferment des éléments organiques, très rapidement destructibles et peut-être même vivants. La consommation des eaux minérales en bouteilles augmente cependant

beaucoup : en 1889, la France en a consommé 45 millions de bouteilles, tandis qu'en 1878 le chiffre ne dépassait pas 25 millions. Paris absorbe à lui seul 10 millions de bouteilles par an. Les eaux de table, gazeuses pour la plupart, sont les plus recherchées. Cette industrie donne lieu à de fâcheuses falsifications : on creuse des puits dans le voisinage des véritables sources et l'on vend de l'eau naturelle sous un faux nom ; on se contente même parfois de fabriquer sur place les eaux minérales, avec l'eau de rivière et des sels analogues aux sels contenus dans la véritable eau minérale.

Statistique. — France. — Le nombre des sources minérales captées en France s'élève chaque année : de 864 en 1844, il est monté à 1043 en 1889. On compte 354 sources alcalines, 319 sulfureuses, 135 ferrugineuses, les autres renferment des sels divers.

Les départements qui comptent le plus grand nombre de sources sont :

	Sources.	Malades.
Puy-de-Dôme	94	18.600
Ardèche	77	7.000
Vosges	76	6.000
Ariège	69	8.200
Pyrénées-Orientales	69	7.800
Hautes-Pyrénées	54	44.000

Le département des Hautes-Pyrénées est celui qui reçoit le plus grand nombre de malades. Viennent ensuite l'Allier (16 000 malades), la Haute-Garonne (14 000 malades), les Landes (13 000 malades), la Savoie (9400 malades), la Loire, le Cantal, etc.

Les Pyrénées renferment surtout des sources sulfureuses, excellentes contre les affections des voies respiratoires. Citons les sources de Cauterets, Saint-Sauveur, Barèges, Bagnères-de-Bigorre, Labassère, Capvern, dans les Hautes-Pyrénées ; les Eaux-Bonnes et les Eaux-Chaudes, Cambo, Saint-Christau, Salies-de-Béarn, dans les Basses-Pyrénées ; Bagnères-de-Luchon, dans la Haute-Garonne ; Aulus, Ussat, Ax, dans l'Ariège ; Molitg, la Preste, dans les Pyrénées-Orientales ; Dax, dans les Landes.

En dehors des Pyrénées, toujours dans le Midi, nous trouvons aussi quelques sources remarquables, mais disséminées : Castera-Verduzan et les boues sulfureuses de Barbotan, dans le Gers ; Alet, Rennes-les-Bains et Campagne, dans l'Aude ; Lamalou, Avène, Rieu-Majou, Balaruc, dans l'Hérault ; Aix, dans les Bouches-du-Rhône ; Gréoulx, Digne, dans les Basses-Alpes ; Monestier, dans les Hautes-Alpes ; Montmirail, en Vaucluse ; Neyrac, Vals, Marcols, Celles, dans l'Ardèche ; Condillac, Montbrun-les-Bains, Bondonneau, dans la Drôme ; la Chaldette, Bagnols, dans la Lozère ; Sylvanès, Andabre, Cransac, dans l'Aveyron.

Le Plateau Central, où les sources thermales représentent les derniers vestiges des manifestations volcaniques, possède des établissements très fréquentés : Vic-sur-Cères, Chaudes-Aigues, dans le Cantal ; Renlaigue, Royat, Mont-Dore, La Bourboule, Saint-Nectaire, Rouzat, Châtel-Guyon, Châteauneuf, Châteldon, dans le Puy-de-Dôme ; Vichy, Néris, Bourbon-l'Archambault, Saint-Pardoux, dans l'Allier ; Bourbon-Lancy, en Saône-et-Loire ; la Roche-Posay, dans la Vienne ; Saint-Honoré, Pougues-les-Eaux, dans la Nièvre. Les sources de Vichy sont peut-être les plus renommées du monde entier ; on extrait du bicarbonate de soude de ses eaux et on en fabrique des pastilles qui s'expédient partout. Signalons la source de Saint-Denis, dans le Loir-et-Cher.

L'Ouest de la France est remarquablement pauvre en sources minérales. Nous n'avons guère à citer que Bagnoles, dans l'Orne, et Château-Gontier, dans la Mayenne.

De même pour la région du Nord, où nous trouvons : Passy et Auteuil, à Paris ; Enghien, en Seine-et-Oise ; Pierrefonds (Oise) ; Forges (Seine-Inférieure) ; Saint-Amand (Nord). Toutes les sources de l'Ouest et du Nord sont froides, sulfureuses ou ferrugineuses.

A l'Est, principalement dans la région avoisinant les Vosges, le Jura et les Alpes, nous trouvons quelques belles sources : Bourbonne, dans la Haute-Marne ; Plombières, Contrexéville, Vittel, Martignac, dans les Vosges ; Luxeuil, Bains, Bussang,

dans la Haute-Saône; Salins, dans le Jura; Guillon, dans le Doubs; Uriage, La Motte, Allevard, dans l'Isère; Aix-les-Bains, Challes, La Bauche, Brides-les-Bains, Salins-Moutiers, La Caille, dans la Savoie; Saint-Gervais, Evian, Amphion, dans la Haute-Savoie.

Algérie. — L'Algérie possède 47 sources thermales et 26 établissements, dont plus de la moitié se trouvent dans le département de Constantine. Les sources les plus fréquentées sont celles d'Hammam-el-Hamé, Ouled-Sidi-Brahim, Hammam-Sidi-Cheikh, Hammam-Meskoutine, Sidi-M'Ad, Biskra, Salak-Bey, Aïn-Sidi-Abdelli.

Corse. — On commence à utiliser les eaux minérales si abondantes de la Corse. Citons celles d'Orezza, Pietrapola, Puzzichello, Guitera, Caldaniccia, Guagno.

Pays étrangers. — Nous devons nous borner à signaler les eaux minérales qui avoisinent la France et reçoivent le plus souvent la visite de nos nationaux.

La Belgique possède les sources de Spa, de Chaudfontaine près de Liège, et de Tongres. Les eaux de Spa sont très renommées.

Avant la guerre de 1870, nombre de Français fréquentaient les stations balnéaires des bords du Rhin. Les sources allemandes les plus remarquables sont celles de Baden-Baden et de Rippoldsau, dans le grand-duché de Bade; Kissingen, Bocklet, Bruckenau, Heilbrunn, Krankenheil (Bavière); Wildbad, Caunstatt (Wurtemberg); Ems, Seltz, Geilnau et Fachingen, Schwalbach, Schlangenbad, Wiesbaden, Weilbach, Soden, Hombourg (Nassau); Nauheim et Schwalheim (Hesse); Pyrmont et Wildungen (principauté de Waldeck); Rémé et Lippspringe (Westphalie); Salzbrünn (Silésie); Aix-la-Chapelle et Kreuznach (Prusse Rhénane).

En Alsace, citons Niederbronn, Châtenois, Wattwiller, Soultzmatt et Soultzbach, près de Colmar.

La Suisse possède des sources très fréquentées : Champel-sur-Arve, dans le canton de Genève; Wildegg, Schinznach, Bade, Birmensdorf (Argovie); Pfæffers, Hof-Ragatz (canton de

Saint-Gall); Taraps, Saint-Moritz (Grisons); Weissembourg (Berne); Louèche, Lavey, Saxon (Valais).

L'Autriche est remarquable par quelques eaux minérales très connues : Gastein et Ischl, dans les Alpes Noriques ; Carlsbad, Marienbad, Franzensbad, Bilin, Tœplitz et Schönau, Pullna, Saidschütz, Sedlitz (Bohême); Bade et Voslau, près de Vienne; Gleichenberg, en Styrie ; Hunyadi-Janos (Hongrie). Quelques-unes de ces eaux, purgatives, sont devenues d'un usage universel.

En Italie, signalons : Acqui dans le Piémont; Ricoaro, Abano, dans la Vénétie ; San Giuliano, Casciana, Castrocaro, Rapolano, Lucques, Monte-Catini, dans la Toscane ; La Porretta dans la Romagne ; Viterbe, Vicarello, Acqua Santa, Acqua Acetosa, dans les environs de Rome; Naples et Castellamare, Bagnoli, Ischia, dans les environs de cette ville. En Espagne, les Français fréquentent beaucoup Penticosa, localité située non loin des Eaux-Chaudes.

Eau gazeuse artificielle. — Elle a reçu le nom d'eau de Seltz, par analogie avec l'eau gazeuse naturelle, originaire de l'Allemagne, qui porte ce nom. Dès le XVIe siècle, Van Helmont avait essayé de fabriquer de l'eau gazeuse ; ce problème tenta aussi de grands savants plus modernes, tels que Bergmann, Lane, Priestley, Lavoisier, Watt, le duc de Choiseul, etc. Watt construisit un gazomètre spécial pour recueillir l'acide carbonique; Bergmann eut l'idée de laver cet acide dans l'eau, afin de le purifier; le duc de Choiseul découvrit un procédé pour charger l'eau de gaz acide carbonique sous pression.

En 1790, Gosse, pharmacien à Genève, parvint enfin à résoudre pratiquement toutes les difficultés en combinant les inventions de ses prédécesseurs. L'appareil de Gosse fut successivement perfectionné par Struve en Allemagne, Bramah en Angleterre, Hermann-Lachapelle en France. On prépare l'acide carbonique en faisant réagir de l'acide sulfurique sur de la craie en poudre, et agitant le mélange ; on lave le gaz dans l'eau, pour retenir l'acide sulfurique entraîné, puis l'on comprime l'acide carbonique dans un récipient contenant de l'eau. Il ne reste plus qu'à introduire cette eau dans le siphon.

Briet eut l'idée de préparer l'acide carbonique dans le siphon même au moyen du bicarbonate de soude et de l'acide tartrique ; ce procédé donne un gaz plus pur, mais plus cher. Beins (de Groningue) fabrique aussi l'eau de Seltz en grand au moyen du bicarbonate de soude et fait la dissolution du gaz dans le siphon même. Ce procédé s'est vulgarisé rapidement.

Enfin on commence aussi à préparer l'eau de Seltz au moyen de l'acide carbonique liquide, que l'industrie prépare maintenant en grand.

L'acide carbonique liquide, fabriqué par M. Windhausen, dans son usine de Grenelle, à Paris, est utilisé dans un grand nombre d'industries.

CHAPITRE V

VERRE

I. — HISTORIQUE.

On ne peut préciser l'époque exacte à laquelle remonte la découverte du verre. L'assertion de Pline, d'après laquelle le hasard aurait fait connaître le verre aux Phéniciens, ne repose sur aucun fondement sérieux. En réalité, les Phéniciens propagèrent partout l'usage du verre, que les Indiens, les habitants de Ninive et les Égyptiens savaient peut-être fabriquer mieux que nous deux mille ans avant notre ère. Les Égyptiens excellaient à fondre, tailler, ciseler, colorer, dorer le verre ; ils s'en servaient pour imiter les pierres précieuses. On a trouvé à Thèbes une admirable statue en verre, ressemblant à de l'émeraude. Plusieurs secrets perdus n'ont pu être retrouvés par la chimie, malgré les immenses ressources dont dispose actuellement cette science.

Les Phéniciens, les Perses, nombre d'artisans des États de l'Extrême-Orient, travaillaient le verre aussi bien que le pouvaient faire les Égyptiens. L'art de la verrerie acquit un grand développement en Grèce et dans les colonies que ce pays fonda en Italie, chez les Étrusques tout particulièrement. Le *millefiori*, sorte de mosaïque formée de baguettes de verres colorés, serait une invention des Étrusques.

Les Romains furent de très habiles verriers : ils connaissaient certains secrets de fabrication des Égyptiens, secrets perdus pour

nous : ils les acquirent peu avant la fondation de l'empire, lors de leurs conquêtes en Grèce et en Asie. On a découvert un verre gravé et doublé, dont on ne pourrait aujourd'hui imiter le travail.

Au moment de l'invasion des barbares, l'industrie de la verrerie se réfugia à Constantinople, à Tyr, à Sidon, à Damas, à Alexandrie ; les verriers byzantins jouirent alors d'une grande renommée. Les verreries, très abondantes dans la Gaule, où elles avaient été fondées par les Romains, disparurent complètement.

Dès le VIIe siècle, les Vénitiens parvinrent à fonder des verreries à Murano, près de Venise. Ces établissements continuèrent à prospérer et atteignirent leur apogée aux XVIe et XVIIe siècles. A cette époque, on fabriqua du verre en Bohême, en France, en Angleterre, et Venise tomba en complète décadence. Les verreries de Venise ne reprirent quelque importance qu'en ces dernières années. La suprématie, dans cette industrie, fut acquise par la Bohême ; elle l'a conservée jusqu'à nos jours.

En France, les verreries commencèrent à prendre une grande importance sous le ministère de Colbert. Notre pays possède aujourd'hui 162 verreries, occupant 23 000 ouvriers, dont les produits annuels s'élèvent à la somme de 85 millions de francs.

Les principales usines sont situées dans les départements du Nord, de la Seine, de Meurthe-et-Moselle, de la Marne, de l'Aisne, de la Loire, du Rhône, de Saône-et-Loire, de la Seine-Inférieure, de l'Aveyron, de la Gironde, de l'Orne, des Bouches-du-Rhône, de Seine-et-Oise, c'est-à-dire dans les régions houillères, vinicoles, ou dans le voisinage des grandes villes.

La France occupe seulement le cinquième rang, venant après l'Allemagne, l'Autriche-Hongrie, l'Angleterre et les États-Unis, et suivie immédiatement par la Russie et la Belgique. Les verreries des Flandres étaient déjà très renommées à l'époque du moyen âge.

Les principales verreries de la Belgique sont établies à Namur, Bruxelles, Anvers, Liège, Huy.

Maestricht et Bois-lè-Duc, en Hollande, possèdent quelques verreries.

II. — FABRICATION DU VERRE.

L'industrie du verre comprend une grande variété de produits: les cristaux, la gobeleterie fine, la gobeleterie commune, les glaces, les verres à vitre, les globes de pendule, les verres de montre, les verres d'optique, les émaux, les perles et les verroteries.

Au point de vue de la composition chimique, tous les verres peuvent se diviser en trois classes :

1° *Verre commun*, silicate de chaux et de soude ;

2° *Verre fin*, silicate de chaux et de potasse ;

3° *Cristal*, silicate de plomb et de potasse.

Matières premières. — *Silice.* — La silice entre dans la composition de tous les verres. Pour le verre fin et le cristal, on se sert de silice pure, exempte de fer, c'est-à-dire de cristal de roche ou quartz, de silex pyromaque ou de sables particuliers (ceux de Fontainebleau, par exemple). Pour le verre commun, on fait usage de sables argileux ou marneux, plus fusibles que les sables purs. Toutes ces variétés de silice doivent être très finement pulvérisées, malgré leur grande dureté. On y arrive facilement en chauffant la matière au rouge, puis la refroidissant brusquement dans l'eau froide, ce qui diminue la cohésion et rend la pulvérisation facile.

Chaux. — Pour le verre fin, on emploie de la chaux vive, du carbonate de chaux, bien exempts de fer. En Bohême, on fait usage de silicate de chaux naturel ou *wollastonite.* Dans certains verres, on remplace la chaux par les carbonates de baryte et de strontiane.

Potasse. — La Bohême, riche en forêts, utilise surtout les cendres de bois. On se sert ailleurs des potasses perlasses d'Amérique et des sels potassiques extraits des vinasses de betterave.

Soude. — On emploie la soude artificielle ou le sulfate de

soude. Il est nécessaire d'ajouter du charbon pour réduire le sulfate de soude.

Plomb. — On se sert du massicot, de la litharge, le plus souvent du minium, à cause de sa plus grande pureté.

Matières décolorantes. — On rend le verre incolore en ajoutant du bioxyde de manganèse, dit *savon des verriers.* Le bioxyde a l'inconvénient de rendre le verre altérable à la lumière. On peut encore utiliser l'oxyde de cobalt, qui n'a pas cet inconvénient (d'après M. Henrivaux), l'oxyde de nickel, l'oxyde d'antimoine, l'oxyde de zinc, le minium, le salpêtre, l'acide arsénieux.

Matières colorantes. — Le verre se colore avec les substances suivantes, variables d'ailleurs suivant la nature du verre :

Rouge et rose. — Pourpre de Cassius, sous-oxyde de cuivre ;

Orange. — Oxyde d'argent ;

Jaune. — Oxyde d'urane, charbon et soufre ;

Vert. — Sesquioxyde de chrome, sesquioxyde de fer, protoxyde de fer et bioxyde de manganèse ; sesquioxyde de fer, bioxyde de manganèse et oxyde de cobalt ;

Bleu. — Oxyde de cobalt, protoxyde de fer, bioxyde de cuivre ;

Violet. — Protoxyde de nickel, bioxyde de manganèse ;

Blanc. — Ammoniate de plomb.

Matières particulières. — Certains verres particuliers exigent l'emploi du fluorure de calcium ou *spath fluor*, de la *cryolithe*, de l'aluminate de soude. L'acide borique donne plus d'éclat au verre et empêche sa dévitrification.

L'acide borique prend chaque jour une importance plus grande. On l'obtenait jadis en traitant le *borax*, ou borate de soude, par l'acide chlorhydrique.

Le borax se trouve en dissolution dans les eaux de certains lacs du Thibet, de la Perse, de la Californie, du Pérou, ayant une origine volcanique. L'acide borique est d'ailleurs toujours amené des profondeurs du sol par des émanations volcaniques. Il existe aussi de grands gisements de borate de chaux dans l'Asie Mineure ; on le transforme en borax par l'action du carbonate de soude.

L'acide borique pur est extrait en grand des *suffioni* de Toscane (Italie). On appelle *suffioni* des fissures du sol laissant échapper de la vapeur d'eau avec de l'acide borique et du sulfate d'ammoniaque. Le chimiste italien Claschi, en 1815, eut l'idée d'exploiter l'acide borique des *suffioni*. Il creusa des bassins autour des fissures et les remplit d'eau qui dissout l'acide borique et le sulfate d'ammoniaque dégagés avec les vapeurs. Claschi se noya l'année suivante dans l'un de ces bassins, et l'exploitation fut continuée par un Français nommé Larderel.

Les *suffioni* de Toscane sont situés dans sept villages de la province de Pise ; on a creusé des puits artésiens qui donnent des produits plus abondants. Cette exploitation occupe 1800 ouvriers et produit plus de 5000 tonnes d'acide borique par an.

Fusion des matières. — *Creusets.* — Les matières composant le verre étant finement pulvérisées et mélangées avec soin, on les fond dans un creuset, fabriqué le plus généralement dans l'usine même avec de l'argile très réfractaire. Chaque creuset peut recevoir de 500 à 600 kilos de matière, parfois même jusqu'à 2400 kilos. La durée de fusion varie de quatorze à dix-huit heures. On enlève, à mesure de leur formation, les écumes qui flottent à la surface, et l'on agite la masse en fusion avec des branches de bois vert ; cette agitation dégage des gaz facilitant la montée des écumes. On ajoute aussi parfois un peu d'acide arsénieux à la fin de l'opération : l'acide se volatilise et les vapeurs très abondantes achèvent la séparation des matières étrangères.

Fours. — La température de fusion doit s'élever jusqu'à 1200°, mais il faut l'abaisser ensuite jusqu'à 700 ou 800° au moment du coulage ou pour le soufflage. Le passage d'un courant d'oxygène, à travers le verre en fusion, accélère la combinaison, donne un verre plus facile à travailler, se coulant mieux et n'ayant pas de soufflures.

Les fours les plus employés aujourd'hui dans la verrerie, comme d'ailleurs dans la cuisson des poteries, la fabrication du gaz d'éclairage, les opérations métallurgiques, etc., sont les fours Siemens, dont l'idée première est due à Ebelmen.

On dispose une couche épaisse de combustible sur une grille en forme d'escalier et l'on fait passer un courant d'air sur ce combustible porté au rouge. Cet appareil se nomme le *gazogène*. Le combustible distille et il se produit un mélange de gaz et d'air qu'on enflamme dans le four à fusion. La chaleur, perdue jadis dans la cheminée, est maintenant utilisée à chauffer des tubes en terre réfractaire. Quand les tubes sont chauds, on dirige les gaz de la combustion dans une autre série de tubes qui s'échauffent à leur tour. Les premiers tubes sont alors traversés par un courant d'air qui s'échauffe et qu'on amène dans le gazogène pour distiller le combustible.

Le four Siemens possède le grand avantage de ne pas produire de fumée, à la condition d'employer un excès d'air. Cette fumée altérait jadis le verre et nécessitait la fermeture des creusets, grave inconvénient pour le travail du verre. Actuellement, on laisse les creusets à découvert et on peut travailler le verre dans le four lui-même. Enfin, l'économie de combustible s'élève à 30 p. 100 sur les fours ordinaires. Les fours Siemens, dont l'usage se généralise chaque jour davantage, ont été employés en France, à partir de 1867, dans les cristalleries de Baccarat, de Saint-Louis, de Clichy et de Pantin.

Travail du verre. — Les objets en verre se travaillent au moyen du coulage, dans des moules, ou le plus souvent au moyen du soufflage. Le soufflage du verre, longtemps pratiqué avec la bouche, au moyen de cannes creuses en fer, était une cause de maladies pour les ouvriers : érosion des lèvres, décollement et distension des joues, fistules du conduit salivaire, prédispositions à la hernie et à l'emphysème. Ce soufflage était désastreux pour les enfants. Robinet, ouvrier à la cristallerie de Baccarat, construisit le premier des appareils pour le soufflage au moyen de l'air comprimé. Ces appareils ont été perfectionnés dans la verrerie de M. Appert.

III. — BOUTEILLES ET VERRES A VITRE.

Bouteilles. — Les bouteilles se fabriquent actuellement beaucoup mieux que jadis; les anciennes bonteilles, d'une colo-

ration trop foncée, avaient un fond irrégulier et une bague mal calibrée. On a également beaucoup augmenté leur résistance à la pression; les bouteilles pour vins mousseux supportent des pressions de 25 à 30 atmosphères. Malgré ces améliorations, leur prix a diminué dans une notable proportion.

Les matières premières varient suivant les établissements : à Lyon, par exemple, on emploie le sable du Rhône, du carbonate de chaux, du sulfate de soude et du charbon. Pour les bouteilles communes, on utilise aussi le feldspath, la stéatite, la pierre ponce, l'amphibole, les basaltes, les phonolithes, les trachytes, les laves et les scories des hauts-fourneaux.

On ne saurait trop soigner la fabrication des bouteilles, car la qualité du vin et autres liquides dépend souvent de la nature des matières premières et des soins apportés à la fabrication.

Les bouteilles françaises se distinguent par leur solidité et leur pureté. Les principales fabriques se rencontrent dans les grands centres de production des vins, des cidres et de la bière, surtout au voisinage des mines de houille. La verrerie de Quiquengrogne (Aisne), probablement la plus ancienne de France, date de 1290. La fabrication des bouteilles est également très active en Angleterre, en Belgique, en Allemagne, dans tous les pays qui font un grand usage de boissons fermentées et riches en houille.

Verre à vitres. — D'après M. Péligot, les vitres étaient inconnues des anciens Grecs et Romains ; certains passages de Sénèque et les découvertes faites à Pompéi et à Herculanum semblent prouver que les premières vitres firent leur apparition à Rome vers le Ier siècle de l'ère chrétienne, importées fort probablement de l'Orient.

Plus tard, nous trouvons des vitres dans les églises et dans les maisons riches; ces vitres étaient colorées, car on ne savait pas encore purifier le verre. Au XIIe siècle, on voit des vitraux peints dans toutes les églises, mais très peu et par exception dans les maisons particulières; au milieu du XVIe siècle, on enlevait encore les vitres des châteaux après le départ des maîtres. On peut cependant constater des progrès dès cette

époque ; le verre devient plus blanc, les fenêtres plus larges. Enfin, sous le règne de Louis XIV, l'usage des vitres se généralisa et l'on posa une vitre d'un seul morceau à chaque carreau, à la place des fragments que le peu d'étendue du verre nécessitait auparavant.

Au commencement du XVIe siècle, Louis de Besquen (de Bruges) employa le premier le diamant pour découper les vitres.

La fabrication des vitres fut due pendant longtemps à deux procédés distincts.

A Venise et en Bohême, on soufflait un grand cylindre, qu'on découpait en deux sections et qu'on étendait au four par ramollissement.

En France, en Allemagne, en Angleterre, on soufflait une boule qu'on transformait en un plateau par un mouvement rapide de rotation ; il ne restait plus qu'à découper ce plateau en fragments. Ce second procédé se désignait sous le nom de procédé en *couronne* ou *crown-glass* chez les Anglais.

Le second procédé fut abandonné en France, en 1730, quand Drolenvaux appliqua le procédé bohémien des cylindres à l'usine de Saint-Quirin-en-Vosges, près de Sarrebourg. Les vitres, obtenues par le procédé des cylindres, sont plus larges, plus planes, plus régulières ; par contre, le procédé des couronnes donne des vitres ayant plus d'éclat. Tout récemment, M. Simon a inauguré une nouvelle méthode fournissant des vitres très larges, très longues, très solides, très transparentes, très brillantes ; il lamine le verre absolument comme le fer, quand on veut obtenir de la tôle.

Les Anglais fabriquent de belles vitres très solides, d'un blanc verdâtre, translucides, d'un aspect chaud et doux, servant à couvrir les gares, les marchés, les bâtiments de grandes dimensions.

Il est parfois nécessaire d'avoir des vitres imperméables à la chaleur, par exemple pour les toitures des magasins renfermant des matières très combustibles, pour les gares, etc. On obtient ce résultat avec un verre composé par un mélange de 70 parties de sable, 25 parties de kaolin et 5 parties de carbonate de soude.

Un industriel de Dresde a eu l'idée de fabriquer des vitres, dans lesquelles il introduit un treillage métallique alors que le verre est encore en fusion ; la vitre devient ainsi beaucoup plus résistante.

Sous le nom de *tectorium*, on fabrique aussi un produit semblable en substituant au treillage métallique un grillage en gélatine bichromatée, donnant au verre une couleur opalescente. Ces vitres sont très fréquemment employées maintenant pour les couvertures de serres, les marquises, les vérandas, les toitures des usines et des magasins.

Signalons encore les briques creuses en verre de M. Falconnier, architecte à Nyon. Ces briques, dont l'aspect ressemble à des bouteilles cubiques ou hexagonales, peuvent s'assembler avec de l'asphalte comme mortier. On en fait des murailles préservatrices du froid pour les serres. Avec des colorations différentes, on obtient de charmants motifs de décoration polychrome.

La Belgique occupe un des premiers rangs pour la fabrication des vitres et son exportation en cette branche est considérable. On compte une quarantaine d'établissements aux environs de Charleroi.

L'Angleterre fabrique d'excellentes vitres avec du sable blanc, du carbonate de soude, de la chaux calcinée, de l'azotate de soude et de l'acide arsénieux. Les principales fabriques sont celles de Chance, à Birmingham, celles de Sunderland, etc.

En France, on se sert surtout de sable blanc, de sulfate de soude, de carbonate de soude, de coke en poudre et de bioxyde de manganèse. Les principaux établissements sont situés à Aniche, Fresne, Givors, etc.

A signaler aussi les vitres de l'Allemagne, de l'Autriche, des États-Unis.

IV. — GLACES.

Les glaces, qui ne sont en définitive que de grandes vitres, furent d'abord fabriquées à Venise par le procédé des cylindres. Les glaces de Venise jouirent pendant longtemps d'une grande

célébrité. En 1688, Thévart et Lucas de Nehou inventèrent le nouveau procédé du coulage, aujourd'hui employé partout. En 1691 une Société fonda la manufacture de Saint-Gobain pour l'exploitation du nouveau procédé, et dès lors la France obtint la suprématie.

Le procédé du coulage resta longtemps inférieur à celui des cylindres ; en 1756, après de nombreux perfectionnements, dus à Pierre Deslandes, on obtint enfin des produits ne laissant rien à désirer.

Le soufflage n'a été complètement abandonné que vers 1820. On fabrique aujourd'hui des glaces de dimensions extraordinaires.

L'usage des glaces coulées a considérablement augmenté depuis quelques années, pour miroirs, devantures de magasins, dalles, pavés, tuiles, etc. Une bonne glace doit être plane, d'épaisseur égale, ayant une grande finesse de poli, une transparence parfaite.

Les matières premières employées sont du sable, du sulfate de soude, du calcaire et du charbon. Il faut surtout éviter l'emploi d'un excès d'alcali, sinon il se produit des efflorescences et le verre se ternit.

Quant à la fabrication, elle consiste à couler le verre sur une table de bronze bien unie et chauffée, puis à étendre avec un rouleau. Après avoir recuit le verre, on polit successivement avec du sable, de l'émeri et du colcothar. Il a été fait des tentatives pour fabriquer des glaces imitant le marbre, tant en France qu'en Angleterre, mais avec peu de succès jusqu'ici.

Statistique. — On peut évaluer à 3 400 000 mètres carrés la surface des glaces fabriquées dans le monde entier :

	Mètres carrés.
Angleterre	1.000.000
États-Unis	700.000
Belgique	650.000
France	600.000
Allemagne	420.000
Autriche	10.000

L'Angleterre fabrique de grandes quantités de glaces, non pour

miroirs, mais pour vitrages, serres, toitures, cloisons, planchers. Ces glaces brutes deviennent d'un usage général. La France commence à imiter l'Angleterre. La première usine a été fondée en 1773 à Revenhead, dans le Lancashire, par un amiral qui, s'étant vu refuser l'entrée de la manufacture de Saint-Gobain, jura de se venger en fabriquant aussi des glaces dans son pays ; il fit venir des ouvriers de France. La manufacture de South-Shields est la plus importante du monde pour le coulage des glaces.

La Belgique possède deux manufactures importantes : à Oignies, près de Charleroi, et à Floreffe, près de Namur.

La première fabrique des glaces fut fondée à Tourlaville, près de Cherbourg, à la fin du XVIIe siècle, par des ouvriers français qui avaient appris à Venise tous les secrets de la fabrication. Ils choisirent Tourlaville uniquement parce que cette localité se trouvait dans des conditions topographiques analogues à celle de Venise, ce qui, chez ces gens naïfs, leur semblait être une condition de succès.

La France possède actuellement huit manufactures de glaces, occupant 3000 ouvriers et faisant un chiffre d'affaires annuel de 23 millions de francs. Les établissements, situés à Saint-Gobain, Chauny (Aisne), Cirey (Meurthe-et-Moselle), Montluçon (Allier), appartiennent tous à la même Compagnie ; ceux d'Aniche, Recquigny et Jeumont, se trouvent dans le département du Nord. La Compagnie de Saint-Gobain a fondé en outre deux manufactures en Allemagne, l'une à Stolberg, l'autre à Manheim. La supériorité des glaces de Saint-Gobain est incontestée dans le monde entier.

La Bavière, comme d'ailleurs l'Angleterre, fabrique une énorme quantité de petites glaces minces, soufflées et polies, pour encadrements et photographies. Citons enfin la manufacture impériale de Saint-Pétersbourg, en Russie, et celle de Frankenthal, en Bohême.

Fabrication des miroirs. — Les premiers miroirs, fabriqués avec des métaux polis, de l'acier, de l'or, de l'argent, du bronze, ou encore avec des pierres dures, l'obsidienne

de préférence, avaient l'inconvénient de se ternir très vite.

On ignore à quelle époque et chez quel peuple furent découverts les miroirs en verre étamé. Les Romains en faisaient déjà usage. Pour étamer une glace, on se sert d'un alliage d'étain et de mercure ; ce procédé répand dans l'air des vapeurs de mercure qui altèrent la santé des ouvriers. Liebig a indiqué un nouveau procédé de fabrication des miroirs, perfectionné par Petitjean, ayant l'avantage de coûter moins cher et d'être salubre pour les ouvriers : on argente les glaces au lieu de les étamer. Ce nouveau procédé a partout remplacé l'ancien.

On étend la glace sur une table horizontale chauffée à 40°, puis on verse successivement une dissolution d'acide tartrique et une seconde dissolution d'azotate d'argent, d'azotate d'ammoniaque et de potasse caustique.

Le dépôt d'argent est terminé au bout d'une heure. Le mètre carré d'argent revient à la minime somme d'un franc cinquante centimes. La teinte possède un reflet légèrement jaunâtre, mais la réflexion de la lumière est vive et pure. Afin de protéger la pellicule d'argent, on recouvre le miroir d'une couche de peinture au minium ou d'un enduit bitumineux. M. Lenoir opère autrement : il plonge la glace dans une solution étendue de cyanure double de potassium et de mercure, contenant de la poudre de zinc. Le zinc précipite le mercure qui s'amalgame à l'argent et forme une surface réfléchissante d'un blanc parfait et résistant à l'action de l'hydrogène sulfuré, gaz qui attaque si vivement l'argent pur.

Bœttgen eut ensuite l'idée de platiner les glaces au lieu de les argenter ; M. Dodé, chimiste à l'usine de Wailly-sur-Aisne, a rendu le procédé de Bœttgen plus pratique. La glace, placée verticalement, est recouverte à l'aide d'un pinceau d'un mélange de chlorure de platine, d'essence de lavande, de litharge et de borate de plomb très finement pulvérisé. On porte la glace au four. Le mètre carré ne revient qu'à un franc. De plus, on peut platiner la surface extérieure du miroir, le platine étant complètement inaltérable ; le miroir en devient plus parfait, car les images multiples ne se produisent plus à travers l'épaisseur du

verre, d'où formation d'une seule image très nette. Les glaces platinées étant transparentes, on peut en faire des vitres jouant en même temps le rôle de miroir. Il est encore possible d'ornementer, au moyen de la gravure, la partie opposée à la surface réfléchissante.

Pour étamer les boules ou les cylindres, on se sert d'un alliage composé de deux parties de mercure, une partie de bismuth, une partie de plomb et une partie d'étain. On commence par fondre l'étain et le plomb, puis on ajoute le bismuth et enfin le mercure. On brasse le tout avec une tige de fer et on enlève les oxydes qui surnagent. L'alliage est coulé sur le verre bien propre et chauffé. On peut aussi faire usage d'un alliage de 95 parties d'étain et de 5 parties de cuivre.

Voici enfin un troisième procédé plus commode. On verse dans la boule un mélange des quatre liqueurs suivantes :

1° Solution de 40 grammes d'azotate d'argent dans un litre d'eau ;

2° Solution de 60 grammes d'azotate d'ammoniaque dans un litre d'eau ;

3° Solution de 100 grammes de potasse caustique dans un litre d'eau ;

4° Solution obtenue en faisant bouillir pendant dix minutes 25 grammes de sucre avec 3 grammes d'acide tartrique, puis neutralisant avec de la potasse caustique, ajoutant 50 grammes d'alcool et assez d'eau pour faire un demi-litre.

Il faut employer des volumes égaux des quatre liqueurs.

Le dépôt est effectué au bout d'un quart d'heure.

Il convient de nettoyer la surface du verre avec de l'acide azotique, puis de la potasse caustique, puis de l'alcool et enfin de l'eau.

C'est une excellente méthode d'argenture du verre, employée pour argenter les miroirs des télescopes.

Gravure sur verre. — La gravure sur verre, d'origine très ancienne, était déjà connue des Romains. On se servait de pointes d'acier ou de silex. Ce procédé s'emploie encore actuellement dans quelques cristalleries de Bohême, d'Italie et de

France. Le dessin étant tracé sur le verre, on en suit les lignes avec une pointe d'acier ou de silex qui tourne d'un mouvement très rapide et pénètre dans le verre. On obtient ainsi des effets supérieurs à ceux pouvant résulter de tout autre procédé.

On fit usage plus tard de la gravure à la meule, en usant le verre avec un disque en cuivre tournant très vite et imbibé d'une pâte d'huile d'olive et d'émeri. On peut également employer une meule artificielle à l'émeri. On suit les contours du dessin tracé sur le verre avec une encre composée d'eau gommée et de céruse. Les Anglais gravent ainsi admirablement leurs cristaux.

La gravure à l'acide fluorhydrique, beaucoup plus commode, connue dès la fin du XVII[e] siècle, n'est devenue pratique que depuis les travaux de Gay-Lussac, Thénard, Kessler, etc., au commencement du XIX[e] siècle. D'abord pratiquée par les Anglais sur des surfaces planes, elle fut étendue à la gravure sur des surfaces courbes par Kessler, Tessié du Mottay et Maréchal dans les cristalleries de Baccarat et de Saint-Louis. On dépose sur le verre un vernis formé de quatre parties de cire et d'une partie d'essence de térébenthine, puis on grave le dessin avec une pointe. On soumet la surface ainsi dessinée à l'action de l'acide fluorhydrique, qui creuse le verre aux endroits dépouillés de vernis avec la pointe. Il ne reste plus qu'à enlever le vernis en chauffant, frottant avec un linge et lavant à l'essence de térébenthine.

L'acide fluorhydrique gazeux donne des traits opaques, l'acide fluorhydrique liquide des traits transparents. Il vaut mieux employer un mélange de fluorhydrate d'ammoniaque et d'acide chlorhydrique qui fournit des traits mats.

Au lieu de graver à la pointe sur vernis, on préfère le plus souvent, quand il faut répéter un grand nombre de fois le même dessin, décalquer sur le verre le dessin imprimé sur une feuille de papier au moyen d'une encre formant vernis.

Le fluorure de calcium ou *fluorine*, qui sert à préparer l'acide fluorhydrique par son action sur l'acide sulfurique, se trouve en abondance dans certains filons de minerais de plomb, de

zinc et d'étain, en France, en Allemagne (Saxe, Stolberg, Hartz, Thuringe), en Angleterre, etc.

Voici un nouveau procédé permettant de graver sur verre une lithographie ou une phototypie. On encre avec un rouleau la lithographie ou la phototypie au moyen de la composition suivante :

Glycérine	400	grammes.
Eau	200	—
Fluorure de calcium en poudre	100	—
Suif	100	—
Savon	100	—
Borax en poudre	50	—
Noir de fumée	50	—

L'épreuve est reportée sur verre comme sur une pierre lithographique, puis on recouvre d'acide sulfurique concentré. Il se dégage de l'acide fluorhydrique qui reproduit la gravure au bout d'une vingtaine de minutes. On lave le verre à la potasse caustique, à l'eau pure et l'on essuie avec un linge chaud.

Tilghmann, aux États-Unis, est l'inventeur d'une quatrième méthode très originale de gravure sur verre. On recouvre le verre d'une feuille de papier sur laquelle on a fait le dessin par découpage, ou encore d'un vernis élastique de collodion et d'huile de ricin, puis on fait tomber sur cette surface du sable fin contenu dans un long tube effilé. Le choc des grains de sable sur le verre suffit pour le dépolir et graver le dessin. Hervé Mangon a imaginé un dispositif meilleur : le sable est projeté dans un appareil spécial au moyen de la vapeur d'eau ou de l'air comprimé.

V. — VERRES DE LUXE.

Sous la désignation de verres de luxe on comprend le *verre de Bohême* et le *cristal*.

Le verre de Bohême s'obtient avec le quartz ou le sable très blanc, le carbonate de potasse, la chaux éteinte, le bioxyde de manganèse et l'acide arsénieux. Toutes ces substances doivent se trouver à un grand état de pureté.

Le cristal est fabriqué avec du sable ou du quartz, du carbo-

nate de potasse, de l'azotate de potasse, du minium, du bioxyde de manganèse et des déchets de cristal.

Cristal. — Le cristal fut d'un usage restreint chez les anciens et particulièrement les Romains. Puis, pendant un grand nombre de siècles, à l'époque de la barbarie, on perdit complètement le secret de sa fabrication. Au milieu du XVIIe siècle, les verriers anglais redécouvrirent le cristal et lui donnèrent le nom de *flint-glass*. La première cristallerie se fonda en 1557, à Savoy House, dans le Strand, à Londres. Le cristal anglais fut longtemps inférieur au verre de Bohême comme transparence ; mais, quand on put obtenir du carbonate de potasse et de l'oxyde de plomb à un grand état de pureté, le cristal devint d'une limpidité supérieure même au cristal de roche.

Le cristal est plus sonore, plus fragile, plus dur, plus fusible que le verre ordinaire.

Verre de Bohême. — L'industrie du verre a été fondée en Bohême, au commencement du XVIIe siècle, par Lehmann, valet de chambre de l'empereur Rodolphe II. Lehmann fit venir d'excellents artistes verriers de Venise. La qualité exceptionnelle des verres de la Bohême est due à la pureté des matières premières que la contrée fournit en abondance : cristal de roche, calcaire saccharoïde, carbonate de potasse des cendres de bois. L'industrie, très divisée, se répartit dans une multitude de petites usines. Chaque usine a sa spécialité, et une même pièce passe successivement dans plusieurs de ces usines. Des ouvriers très habiles, se contentant d'un modique salaire, taillent, gravent, dorent, ornementent tous ces admirables objets si flatteurs pour les yeux. Les verreries, placées au milieu des forêts, pauvrement construites avec des planches, sont abandonnées et reconstruites plus loin quand on a consommé le bois des environs. Les principales sont situées dans le Böhmerwald, le Riesengebirge et le plateau Morave; Neuwelt, centre le plus important, occupe 2000 ouvriers.

On ne retrouve nulle part une plus admirable élégance de forme et de couleur, plus de finesse, plus de légèreté, un meilleur choix des nuances, plus d'éclat et de solidité. Les artistes

verriers de la Bohême ont su marier l'art oriental avec l'art occidental, d'où leur originalité inimitable.

L'Angleterre possède des cristalleries remarquables à Londres et à Birmingham. Mais elle doit faire venir les sables purs de France et même d'Amérique. Ses cristaux sont admirablement taillés et gravés.

La France fabrique du cristal, mais seulement depuis la fin du XVIIIe siècle. La première cristallerie fut fondée à Saint-Cloud, près de Paris, en 1784. Les établissements de Munsthal ou de Saint-Louis et de Baccarat datent des années 1790 et 1816. La cristallerie de Baccarat acquit rapidement une réputation universelle ; elle occupe 2000 ouvriers et produit à elle seule autant de cristaux que les autres verreries de France réunies. Les usines de Baccarat, de Saint-Louis, de Pantin près Paris, de Lyon, etc., fabriquent de grandes pièces décoratives, lustres, coupes, surtouts de table, cristaux colorés, verreries imitant les objets de fantaisie de la Bohême et de Venise.

Malgré tout, les cristaux français n'ont pas la blancheur des cristaux anglais.

La Belgique fabrique peu de cristaux de luxe, mais, par contre, elle produit des quantités considérables de cristaux d'usage courant. Ses manufactures principales, situées à Bruxelles et à Namur, en exportent à l'étranger.

Signalons aussi les cristaux de Venise, ceux de la Prusse, des États-Unis ; la *purpurine*, magnifique émail rouge, a été découverte à la Cristallerie impériale de Saint-Pétersbourg.

VI. — VERRES DE MONTRE.

La fabrication des verres de montre représente une industrie fort importante : la seule usine de Trois-Fontaines, annexée à l'Allemagne après 1870, en fabrique 30 millions par an.

Les premiers verres de montre s'obtenaient en détachant deux portions d'une petite boule de verre, procédé donnant des verres trop bombés au centre et trop abaissés sur les bords. Au XVIIIe siècle, on imagina de creuser un verre plat et épais au

moyen de la meule ; ces verres, dits *chevés*, atteignaient des prix trop élevés.

Royer (de Paris) perfectionna en 1791 la méthode de fabrication au moyen de la boule de verre. On souffle une très grosse boule, d'un diamètre d'un mètre au moins, épaisse d'un millimètre, puis on en détache des disques. Pour détacher ces disques, on appliquait autrefois un moule en cuivre sur la boule, puis on promenait sur les bords un tuyau de pipe rougi à blanc. Le verre se dilatait et le disque se détachait quand on mettait un peu d'eau sur les bords. On préfère se servir aujourd'hui d'un compas, dont l'une des branches porte une pointe de diamant.

Ceci fait, on pose chaque disque dans un moule en terre, saupoudré d'un peu de chaux pour empêcher l'adhérence du verre, puis on porte au four. Le verre se ramollit et on presse pour l'obliger à prendre la forme du moule. Il ne reste plus qu'à polir les bords à la meule et à biseauter un peu pour que le verre s'ajuste exactement dans la rainure du couvercle de la montre.

VII. — VERRES D'OPTIQUE.

Les verres d'optique doivent être homogènes, inaltérables, exempts de stries et n'avoir aucune trace de trempe. On s'assure de cette dernière condition au moyen d'un appareil nommé *polariseur*.

On se sert de verre ordinaire ou *crown-glass* (sable blanc, carbonate de potasse, chaux éteinte, azotate de potasse) et de cristal ou *flint-glass* (sable blanc, carbonate de potasse, minium). On ajoute parfois un peu d'oxyde ou d'azotate de bismuth. Le *crown* sert à fabriquer les lentilles *convexes* et le *flint* les lentilles *concaves*. On obtient l'*achromatisme* des lentilles convergentes, pour instruments d'optique, c'est-à-dire des images nettes et non irisées sur les bords, par la juxtaposition d'une lentille convergente de *crown* sur une lentille divergente de *flint*. L'achromatisme, dont la possibilité avait

été niée par Newton, fut découverte par Euler, en 1747, et réalisée pratiquement en 1759 par Dollond, célèbre opticien de Londres. Aiscongt, opticien de Leucastle, avait fait antérieurement la même découverte en 1754, mais l'avait tenue secrète.

Le verre soufflé ou coulé est très imparfait : rempli de bulles, de stries, et séparé par le refroidissement en couches de densités différentes. Le hasard faisait qu'on trouvait jadis, au milieu d'une masse de verre, une petite portion à peu près sans défauts. De grands savants, Faraday, Herschell, etc., avaient tenté inutilement d'obtenir du verre bien homogène. Un simple ouvrier suisse, du nom de Guinard, parvint à résoudre ce problème à la fin du XVIIIe siècle. Guinard quitta Neuchâtel en 1805 et se rendit auprès de Frauenhofer, célèbre fabricant d'instruments d'optique à Benedictbeurn, en Bavière, où ils travaillèrent en secret à la fabrication des verres. A la mort de Guinard, son fils, à qui son père avait légué tous ses procédés de fabrication, vint fonder une usine à Choisy-le-Roi, près de Paris. Guinard fils révéla son secret en 1839. M. Feil, successeur de Guinard fils, a bien perfectionné la fabrication des verres d'optique. On obtient actuellement d'énormes masses de verre sans le moindre défaut : c'est ainsi que la lentille de *crown* de l'observatoire de Spence, en Californie, a $1^{m},05$ de diamètre et pèse 131 kilos ; l'objectif de la grande lunette du Mont-Hamilton, aux États-Unis, porte une lentille en *crown* de 750 kilos et une lentille en *flint* de 900 kilos.

Le procédé de Guinard consiste simplement à agiter sans cesse la matière en fusion dans le creuset, puis à laisser refroidir très lentement le verre sans cesser d'agiter jusqu'à commencement de solidification. La fusion dure de cinq à six heures et le refroidissement une vingtaine de jours. Niepce et Daguerre innovèrent le procédé consistant à agiter le verre avec un cylindre d'argile réfractaire, lequel n'altère pas la composition du verre.

Les lentilles s'obtiennent en taillant grossièrement la masse de verre, de façon à lui donner la forme du moule. On polit avec de la potée d'étain (stannate de plomb obtenu en chauffant dans un four trois parties de plomb avec une partie d'étain),

mélangée avec de l'acide métastannique (obtenu par l'action de l'acide azotique sur l'étain). On frotte le verre contre une roue en liège imprégnée de ce mélange.

Les miroirs sont fabriqués par usure à la meule, suivant un procédé imaginé par Foucault.

Les principales fabriques de verres d'optique sont celles de MM. Chance, à Birmingham, en Angleterre ; de madame veuve Guinard, en Suisse ; de M. Feil, arrière-petit-fils de Guinard, à Paris, et l'usine de Saint-Gobain, qui livre des anneaux, des lentilles, des prismes pour phares de tous systèmes, ayant une constance absolue de pouvoir réfringent.

VIII. — VERRES SPÉCIAUX

Verre trempé. — Invention datant de 1875, et due à M. de La Bastie, qui a fondé une première usine à Pont-d'Ain, dans le département de l'Ain. On chauffe le verre au rouge, jusqu'à commencement de fusion, puis on le plonge dans un bain d'huile ou de graisse, plus ou moins chauffé, qu'on laisse ensuite refroidir lentement. On lave le verre dans une solution de soude, puis dans de l'eau chaude et finalement dans l'eau froide.

Les anciens connaissaient déjà le verre trempé. Ils se servaient du sang de bœuf comme bain.

Le verre trempé sert à fabriquer des bobèches, des verres d'éclairage, des assiettes opalisées, etc. Son usage est très restreint, car il se brise spontanément avec violence. Sa résistance est trois fois supérieure à celle du verre ordinaire.

Verre filé ou coton de verre. — On en fabrique des aigrettes brillantes pour parures, des perruques, des imitations de poils d'animaux, des étoffes incombustibles, des pinceaux inaltérables, des filtres pour acides. On l'obtient en étirant des tubes de verre au chalumeau et enroulant le fil très ténu sur une roue.

Verre craquelé. — On chauffe un objet en verre dans un moule, puis on refroidit brusquement avec de l'eau froide, ce qui brise le verre en une multitude de fragments. Ces fragments, maintenus par les parois du moule, ne peuvent pas changer de

position. On ressoude tous les morceaux entre eux en portant le moule au four.

Verre incrusté. — On enveloppe, entre deux couches de cristal jaune, des objets moulés en relief avec de l'argile blanche ou de la stéatite. Ces objets prennent un bel aspect d'or mat.

Verre d'albâtre. — On projette des parcelles de cristal mouillé dans du cristal fondu, puis on agite. On obtient des effets remarquables.

Pierres précieuses artificielles. — Le *strass*, qui sert à imiter les pierres précieuses, a été inventé au commencement du XIX[e] siècle par Joseph Strasser. Il se fabrique spécialement en Bohême, à Venise et à Paris. On confond facilement la pierre vraie et la pierre fausse, tant on a atteint de perfection pour produire cette dernière.

Le strass incolore, cristal très plombifère, s'obtient par fusion d'un mélange de cristal de roche pulvérisé, de minium, de potasse caustique très pure, de borax calciné et d'acide arsénieux.

Le strass coloré se prépare en ajoutant à la composition précédente des oxydes métalliques :

Améthyste......	bioxyde de manganèse, oxyde de cobalt et pourpre de cobalt;
Saphir..	oxyde de cobalt;
Rubis...........	bioxyde de manganèse;
Topaze.........	antimoine et pourpre de Cassius;
Émeraude......	oxyde de cuivre et sesquioxyde de chrome;
Aigue marine...	verre (oxyde sulfuré fondu) d'antimoine et oxyde de cobalt.

Le jais artificiel pour passementerie de dames se colore en noir avec les oxydes de cuivre, de cobalt et de fer.

On peut obtenir des effets charmants par des combinaisons et des tours de main exigeant une grande habileté. Pelouze a trouvé une *aventurine* de chrome, aux reflets chatoyants, analogue à l'aventurine de cuivre, si remarquable des Vénitiens. L'aventurine de Venise, dont on a perdu le secret, était constituée par des paillettes de cuivre en suspension dans le verre. Lobmayr, verrier de la Bohême, découvrit par hasard l'irisation artificielle du verre. Un jour de fête, après tirage d'un feu d'artifice dans son usine, il trouva le verre de ses creusets altérés et irisés. Attribuant avec raison ce phénomène aux fumées des

pièces d'artifice, il eut l'idée de volatiliser dans le four à fusion du verre des sels de cobalt, d'urane, d'arsenic; il devint ainsi le créateur d'une industrie nouvelle. En 1752, on trouve déjà, dans un *Traité de la fabrication du verre*, un procédé pour iriser artificiellement le verre, par calcination dans un creuset fermé, d'un mélange de cristal, d'antimoine, d'orpiment et de chlorhydrate d'ammoniaque, ce qui, au dire de l'auteur, colore le cristal en or, rubis, etc. M. Camille Portal irise le verre par un mélange de chlorure d'étain, de carbonate de baryte et de carbonate de strontiane.

Émaux. — L'émail, verre coloré opaque, tend à prendre chaque jour une part plus importante dans les arts du bijoutier, de l'orfèvre, du fabricant de bronze, etc. On a éprouvé au début de grandes difficultés et beaucoup de déceptions, car l'émaillerie exige des connaissances approfondies en chimie. L'émail s'applique à l'état de poudre délayée sur le corps à émailler, puis se vitrifie par cuisson. Le verre doit adhérer à l'objet. Le principal obstacle consiste à trouver des émaux capables de supporter un même degré de chaleur. On se sert encore des émaux pour la fabrication des mosaïques, des couvertures des poteries et d'autres objets divers.

L'émail blanc s'obtient en ajoutant au verre de l'oxyde d'étain, de l'acide arsénieux, du chlorure d'argent, du phosphate de chaux, de la poudre d'os calcinés, de la cryolithe, de l'aluminate de soude, du sulfate de baryte, du spath fluor. Ce dernier donnerait les meilleurs résultats, d'après M. Paris (de Bercy). Le verre opalisé, pour abat-jour et échelles thermométriques, se prépare avec les os calcinés. M. Gallé (de Nancy) obtient des émaux, merveilles de finesse et de coloris, au moyen du soufre, des oxydes de cuivre, d'or, d'iridium, et en développant des bules gazeuses microscopiques dans la masse de verre. La fabrication des émaux, jadis monopolisée par Venise, a pris une grande importance à Paris depuis les travaux de M. Paris (de Bercy), de MM. Appert et Guilbert Martin.

Verre filigrané, millefiori, perles fausses. — Le verre *filigrané*, connu en Orient avant l'ère chrétienne, devint un art

très florissant à Venise dès le xve siècle. On le fabrique en soudant ensemble au four des baguettes de différents verres colorés. Le verre filigrané sert à obtenir des objets artistiques.

Le *millefiori* est un verre filigrané, enveloppé dans une masse de verre incolore.

On obtient de charmants effets d'ornementation en trempant successivement la canne de souffleur dans des verres fondus de différentes couleurs, puis soufflant les objets par les procédés ordinaires. La masse de verre est formée de couches superposées, ayant chacune des colorations différentes. En usant convenablement ensuite la surface avec la meule, on met à nu les couleurs différentes, d'où production d'effets très variés.

Les perles fausses, connues en Égypte quinze siècles avant l'ère chrétienne, se préparent en découpant des fragments de verre dans un tube coloré, puis chauffant au four dans un tambour de fer battu, contenant du plâtre, du graphite en poudre, de l'argile ou du charbon en poussière. On agite sans cesse le tambour pour arrondir les fragments du tube. Il ne reste plus qu'à polir en agitant ces perles dans un premier sac contenant du sable, puis dans un second sac renfermant du son. Les perles se trouvent naturellement percées au centre quand on a employé des fragments de tube creux.

Nous avons déjà parlé de la fabrication des perles artificielles au moyen des écailles d'ablettes ; nous savons quelle perfection on a atteint aujourd'hui en ce genre.

IX. — VITRAUX PEINTS.

La fabrication des vitraux peints exige une éducation et un goût tout particuliers. Cette peinture ne ressemble en rien à la peinture ordinaire sur toile : elle consiste en une mosaïque ou en émaux cloisonnés. On ne voit plus d'ombres, comme dans la peinture sur toile ; les figures et les ciels sont coupés par les lignes sombres des supports en plomb ou en terre céramique. Le vitrail ne doit pas laisser apercevoir les objets extérieurs, tout en laissant passer assez de lumière pour éclairer l'intérieur

des édifices. La lumière demande à être tamisée et atténuée dans les ombres. Il convient encore d'assembler les fragments de verre de manière à donner de la solidité à l'ensemble, à multiplier les nuances et à harmoniser l'ensemble. La fabrication d'un vitrail comporte donc des difficultés considérables.

Les basiliques de l'Orient possédaient déjà des vitraux peints, assemblés avec des bandes de plomb, mais faits avec des verres d'une seule teinte. Aux VIIIe et IXe siècles seulement, les vitraux peints firent leur première apparition dans les églises de l'Europe occidentale, notamment à Saint-Remy de Reims et à l'abbaye de Togernsee, en Bavière. Les contours et les ombres, obtenues avec des hachures en émail noir, produisent de jolis effets. Au XIIe siècle, les vitraux cessent d'être unicolores et l'on fait usage de verres de plusieurs couleurs, avec bleu dominant et rouge rare. Les fragments de verre sont de très petites dimensions. On ne peut rien imaginer de plus simple, de plus harmonieux comme assemblage et comme éclat tempéré. Un siècle plus tard, les figures deviennent plus grandes, le rouge domine ; les châteaux possèdent des vitraux comme les églises.

La décadence commence aux XIVe et XVe siècles : c'est plus parfait comme exécution, mais l'effet s'amoindrit, car les blancs abondent trop. On ne se contente plus d'employer des verres colorés dans toute leur épaisseur, on commence à appliquer de l'émail. On fait également usage de verres colorés seulement sur l'une des surfaces : en usant cette couche colorée à la meule, on dessine les figures, ce qui multiplie les blancs. Le XVIe siècle répare en partie les erreurs du siècle précédent et l'on revient à une peinture plus saine ; on diminue la largeur des plombs et les émaux s'étendent sur une plus grande surface. C'est l'époque des grands artistes verriers, des Pinaigrier, des Jean Cousin, des Bernard de Palissy. Plusieurs tavernes, en Suisse, possèdent des vitraux d'un charme gracieux, représentant des légendes sentimentales ou patriotiques.

Au XVIIe siècle, la décadence devient complète et irrémédiable ; l'art de la peinture sur verre meurt et tombe dans un oubli complet. Il faut attendre le XIXe siècle pour le voir renaître, don-

nant de nouveau de la gaieté aux églises, aux palais et aux demeures particulières. On est loin cependant d'avoir encore atteint la perfection des chefs-d'œuvre des XIVe et XVe siècles. Les vitraux modernes laissent passer trop de lumière et manquent de cet effet chatoyant et scintillant des âges précédents

On a tenté d'imiter cet effet en faisant des stries sur le verre. Maréchal (de Metz), associé à Tessié du Mottay, a surtout contribué à cette restauration de l'art des vitraux peints en France. Au début, on commit une grave erreur, en croyant qu'il suffisait de reproduire les tableaux des grands maîtres au moyen de verres colorés ; mais les artistes sont vite revenus au véritable sentiment du beau. La peinture sur verre a su profiter des découvertes modernes ; elle a combiné la mosaïque de verre avec la véritable peinture, qui utilise des procédés analogues à ceux de la peinture sur porcelaine.

La France possède des peintres verriers d'un talent remarquable ; Paris en compte une trentaine à lui seul.

L'Angleterre, où les vitraux peints sont très recherchés, non seulement pour les églises, mais aussi pour les palais et les maisons particulières, possède également des artistes de grand talent.

Citons enfin les peintres verriers de la Belgique, de l'Allemagne et de l'Autriche.

Outre les vitraux peints proprement dits, il existe encore quelques peintures sur verre dont nous devons dire un mot.

On obtient de délicieux effets en emprisonnant des peintures entre deux couches de verre fondu. Léon Fargue a imaginé, en 1891, des vitraux céramiques cloisonnés. Les cloisons sont faites avec des pâtes céramiques réfractaires, dont les vides sont remplis par des verres recouverts de poudres d'émail de couleurs différentes. Le tout est ensuite porté au four : l'émail fond et recouvre le verre des peintures dessinées avec les poudres colorées. Il convient de faire usage de verres et d'émaux spéciaux.

Les images photographiques colorées sur porcelaine et sur verre, s'obtiennent par application d'une épreuve positive en

gélatine bichromatée, mélangée avec de la poudre d'émail. On porte au four, l'émail fond et s'incruste sur le verre en reproduisant l'image. Ce procédé donne une image unicolore. On peut obtenir une image à plusieurs colorations, en répandant au pinceau des poudres d'émail diversement colorées sur l'image à la gélatine bichromatée, rendue visqueuse par addition de gomme et de miel.

CHAPITRE VI

POTERIES

Les poteries se divisent en deux groupes :

1° Poteries tendres, rayables au fer, fusibles au four à porcelaine ;

2° Poteries dures, rayables seulement à l'acier, infusibles au four à porcelaine.

Le premier groupe se subdivise à son tour en poteries communes, perméables ou vernissées, et en faïences communes. Le second groupe comprend la faïence fine, le grès cérame et la porcelaine.

I. — POTERIES COMMUNES.

Les premières poteries, à l'origine de la civilisation, furent fabriquées avec le limon des fleuves et simplement desséchées au soleil. Les briques, obtenues par ce procédé primitif, abondent dans les ruines de Babylone ; la plupart ont été réduites en poussière par l'effet destructeur du temps. Plus tard, on reconnut que les poteries, soumises à l'action du feu, devenaient très dures et perdaient la propriété de se délayer dans l'eau. Mais le limon, même cuit au four, reste encore poreux et perméable aux liquides. Un autre progrès, beaucoup plus considérable, consista à les recouvrir d'un vernis les rendant imperméables. Ce vernis, appelé aussi *glaçure*, *émail* ou *couverte*, était d'abord silico-alcalin ; le vernis plombifère ne fut découvert que longtemps après, par un potier de Schlestadt, vers 1283.

Les poteries communes comprennent la fabrication d'un grand nombre d'objets d'un usage courant : briques ordinaires et réfractaires, tuiles, tuyaux, carreaux, pots de fleurs, ustensiles de ménage, vases d'ornementation, statuettes, etc., etc.

La fabrication des poteries communes est fort simple. On mélange intimement de l'argile avec du sable, du silex pyromaque ou de la craie, le tout finement pulvérisé ; on obtient ainsi une pâte plastique, qu'on moule sur le tour à potier, à la main ou avec la machine. Les anses, les manches, etc., se font à la main et s'ajoutent ensuite. On laisse sécher lentement, soit au soleil, soit dans une partie peu chauffée du four, puis on imprègne de vernis, s'il y a lieu. Le vernis le plus employé consiste en un mélange d'argile, de sable et de minium, de couleur jaune ; on ajoute de l'oxydule de cuivre pour colorer en vert et du bioxyde de manganèse pour colorer en brun. Ces matières sont finement pulvérisées et mises en suspension dans l'eau. On arrose la poterie avec cette bouillie, ou bien on l'étend avec un pinceau, puis on porte au four en ayant soin de chauffer progressivement pour ne pas produire de fissures. On se sert aujourd'hui des fours annulaires de Frédéric Hoffmann (de Berlin), donnant une cuisson rapide et économique, qui dure une quinzaine d'heures. On laisse refroidir lentement, pendant vingt-quatre heures environ.

Le vernis plombifère a l'inconvénient, dans le cas où on l'applique aux ustensiles de cuisine, d'être attaquable par le vinaigre. Constantin, en 1874, a imaginé des vernis ne possédant plus cet inconvénient : il se sert d'un mélange de silicate de soude, de minium, de quartz ou encore de silicate de soude, de craie, de quartz, de borax et d'acide borique.

Briques. — C'est la poterie la plus simple. Comme matières premières, on emploie le limon, l'argile plastique ou figuline, auxquels on ajoute des schistes argileux finement pulvérisés, de la poussière de charbon (surtout aux États-Unis), de l'argile ferrugineuse (Staffordshire, en Angleterre, ce qui donne un produit de qualité spéciale), des cendres de houille, des laitiers de hauts-fourneaux, etc. Le mélange se moule mécaniquement avec

des machines spéciales, inventées au commencement du XIX[e] siècle par Kinsley, aux États-Unis, et par Hattenberg, conseiller de l'empereur de Russie. Ces machines furent d'abord employées surtout en Angleterre. Le moulage de la pâte sèche donne des briques plus dures, plus résistantes, mais moins homogènes; la pâte humide produit une pâte plus régulière. La machine fournit un cylindre continu qu'on découpe en morceaux, de longueur voulue. On obtient par le même procédé les tuyaux et les poteries creuses pour cheminées. Les briques très communes se fabriquent encore à la main, avec un simple moule en bois et une presse pour comprimer la pâte. La cuisson s'opère dans le four Hoffmann, ou, pour les briques communes, avec un four massif construit avec les briques elles-mêmes.

Les briques creuses, dont l'usage devient général, ont été inventées par M. Borie (de Paris). Les anciens en faisaient déjà usage.

Les briques légères, également connues des anciens, se fabriquent avec de la terre de marais, de la poudre de charbon, de la sciure de bois, du tan, une argile blanche (que l'on trouve dans l'Ardèche, à la base du mont Coiron, et aussi à Castel del Piano, près de Florence), du sable siliceux d'infusoires. Ces briques, qui flottent sur l'eau, s'emploient surtout pour construire les cloisons des poudreries et des navires.

On fabrique aussi des briques de liège très légères. Les briques calcaires se préparent avec de la chaux vive, du sable et de l'eau. Les Hollandais ont l'habitude de cuire très fortement leurs briques, ce qui les vitrifie à moitié.

Produits réfractaires. — Les produits réfractaires sont nécessaires pour toutes les fabrications exigeant des températures très élevées : métallurgie, verrerie, poterie, etc. Chaque genre d'industrie emploie des produits réfractaires spéciaux, d'où souvent de très grandes difficultés à vaincre pour la préparation de ces produits. Par exemple, pour les creusets des verreries, il faut une pâte inattaquable par les matières composant le verre ; les creusets à fondre l'acier ne doivent pas se fendre à l'entrée ou à la sortie du four, malgré la différence énorme

de température ; il est nécessaire que les briques soient complètement infusibles.

L'argile plastique, bien dépourvue d'alcalis et d'oxyde de fer, forme toujours la base des produits réfractaires. On la mélange avec du sable quartzeux pur, de l'alumine, de l'argile cuite, du ciment, de la plombagine, etc.

La Belgique occupe le premier rang pour la fabrication des produits réfractaires ; elle trouve dans son sol des sables très purs et des quartzites très réfractaires. Les usines sont établies sur les lieux d'extraction de ces produits, sur la rive droite de la Meuse, entre Namur et Andennes (Andennes, Floreffe, Natoye, Bouffioulx, Mozet, Champsau), et dans le Hainaut (Saint-Ghislain, Quarégnon, Hautraye et Baudour).

Vient ensuite l'Angleterre, où cette industrie a pris un grand développement, à cause de son immense industrie et de la multitude de ses fourneaux. Ce pays abonde en matières premières réfractaires; les argiles schisteuses du terrain houiller de Dudley, à Stourbridge, sont activement exploitées. Les Anglais fabriquent d'excellents creusets à la plombagine, s'échauffant très vite, et dont les parois sont tellement lisses qu'il ne reste plus la moindre trace de métal quand celui-ci a été fondu et coulé.

En France, les produits réfractaires se préparent surtout dans l'Isère (Voiron, Voreppe, Saint-Étienne-du-Crossay), dans le Vaucluse, où l'argile de Bollène est excellente, à Draguignan avec de la bauxite blanche, à Forges-les-Eaux (Seine-Inférieure). Avant 1869, la France achetait ses produits réfractaires à l'étranger; mais, à cette époque, la maison Muller fabriqua d'excellentes briques en silice. La même maison inventa aussi les briques en magnésie pour la déphosphoration du fer et autres métaux.

Signalons aussi les produits réfractaires de l'Autriche, de l'Espagne et surtout de l'Allemagne.

Les creusets de Hesse, fabriqués avec l'argile de Gross Almerode, et ceux de Passau, jouissent d'une renommée universelle.

Terres cuites décoratives. — La céramique constitue la vraie peinture du bâtiment. Nos églises, nos palais, nos théâtres, nos cafés, nos bains, nos maisons même sont indignes de gens civilisés, et les Orientaux doivent trouver bien tristes nos cités de l'Occident. Les briques émaillées et les faïences donneront seules la lumière, la couleur et la gaieté manquant à nos régions déjà si assombries par le climat.

Voici ce qu'écrivait M. Edmond Taigny dans son rapport sur les applications de l'art à l'industrie, à propos de l'Exposition universelle de 1867.

« On a souvent oublié que l'art décoratif est né avec la lumière. L'éclat dont la nature entoure les productions orientales, la richesse de la flore, l'abondance des matières premières, ont révélé aux potiers, aux architectes, aux brodeurs l'instinct de la couleur, l'harmonie des tons et la manipulation de ces belles terres émaillées, qui ont défié les injures des siècles. La simplicité de la vie asiatique donne aux monuments, aux ustensiles de la vie religieuse ou privée, une régularité presque géométrique dans la profusion même, qui leur imprime un caractère profondément original. Aussi est-ce à ces peuples, dont l'immobilité railleuse semble défier l'activité de nos machines, qu'il faut encore demander le secret de la véritable décoration. En vain les découvertes chimiques ont multiplié les tons de la palette : avec quelques couleurs mères, les Chinois, les Persans, les faïenciers arabes ou italiens, leurs élèves, obtiennent des effets d'une vigueur incomparable. Le goût le plus exquis a brodé, découpé, soutaché, niellé ces entrelacs, ces arabesques; le caprice seul semble avoir créé ces fleurs, ces animaux chimériques, et cependant telle est la puissance de l'inspiration puisée dans l'étude de la nature que le fantastique devient réel, marche, vole, s'épanouit et s'anime d'un souffle de vie. Quelle variété sous cette apparente monotonie de rinceaux enroulés! quel éclat sous ces vibrations infinies de la couleur! quelle justesse de proportion dans ces vases aux flancs largement renflés, aux cols évidés, autour desquels l'imagination, réglée par une logique secrète, a jeté l'éclatante parure de sa couleur. »

Les terres cuites décoratives étaient déjà employées dans l'antiquité, comme l'ont démontré les belles briques émaillées découvertes dans le palais de Darius par M. et Madame Dieulafoy. Les terres cuites produisent des effets décoratifs puissants et riches, avec une durée indéfinie. Elles s'allient admirablement au fer et leur pose est très rapide. Il faut d'ailleurs qu'elles résistent au choc, aux intempéries de l'air et surtout à la gelée. On les fabrique avec de l'argile pure, dégraissée avec du sable fin ou du ciment pulvérisé ; on les cuit à haute température pour leur donner plus de résistance.

L'usage des terres cuites décoratives se répand de plus en plus dans les églises, les palais, les théâtres, les cafés, les bains, les maisons particulières. Leurs couleurs ont le grand avantage d'être inaltérables. Il faut donc espérer que nos villes, si grises, si ternes, si monotones et si tristes, vont enfin devenir riantes et gaies.

Les pays musulmans (Turquie, Égypte, Tunisie, Maroc) fabriquent énormément ce genre de poteries. M. Minton, en Angleterre, a beaucoup contribué à répandre leur usage en Europe. L'Angleterre fut d'ailleurs la première, à cause de son manque de pierres dures, à remplacer dans les églises les pierres de taille par des terres cuites. L'Allemagne fabrique d'excellents produits. Cette industrie commence aussi à se développer en France ; Paris et le département de l'Oise font surtout des carreaux céramiques pour trottoirs. M. Kristoffovitch, en Russie, est l'inventeur du *pyrogranit*, obtenu par calcination d'un mélange d'argile rouge ordinaire et d'argile réfractaire, susceptible de poli et imitant le porphyre. Ce produit remarquable, fabriqué à Borovitchi, dans le gouvernement de Novgorod, sert à paver les rues de Saint-Pétersbourg et celles de Moscou. Sa durée est illimitée.

Les statuettes en terre excellent aussi pour la décoration des appartements, des parcs et jardins. En Italie et en Autriche, on les peint à l'huile ou à la cire, avec des couleurs variées. Ces tons polychromes produisent un excellent effet décoratif. Quant aux vases, l'antiquité et les temps modernes ont obtenu

de belles œuvres avec de la poterie commune. Dans l'antiquité, il faut surtout citer les vases égyptiens, à pâte grisâtre ou jaunâtre, à glaçure verte ou bleue, aux ornements noirs, à l'aspect sévère ; les vases grecs, à pâte rougeâtre ou d'un brun jaunâtre, aux formes simples, aux contours purs, aux ornements nobles ; les vases étrusques et romains. A l'époque moderne, certains peuples se font remarquer par la beauté de leurs vases. Il convient de citer particulièrement les Chinois, les Japonais, les Coréens, les Indiens, les habitants de la terre de Van-Diemen. Au Bengale, on décore les vases avec des paillettes de mica.

II. — FAIENCE COMMUNE.

Le vernis plombeux, à cause de sa transparence, est insuffisant pour masquer la couleur de la pâte sous-jacente. Sous le nom de faïence commune, on comprend les poteries recouvertes d'un émail opaque qui dissimule la teinte généralement rougeâtre de l'argile cuite.

La faïence commune fut probablement inventée par les Arabes et les Maures d'Espagne, dès la fin du XIIIe siècle. De là son usage se répandit en Italie, où elle prit le nom de *majolique*, parce que cette poterie vint d'abord de l'île de Majorque (?), puis celui de *faïence*, du nom de Faenza, ville où étaient situées les principales fabriques. Les faïences italiennes jouirent d'une grande renommée pendant les XVe et XVIe siècles, grâce au talent de Lucca del Robia, d'Orazzio Fontana d'Urbino et de son frère Flaminio.

D'Italie, la fabrication de la faïence passa à Nuremberg en Allemagne, puis à Delft en Hollande, au commencement du XVIe siècle. En 1530, un Français, Bernard de Palissy, ayant vu une coupe italienne en faïence, résolut d'en fabriquer une semblable. Réduit à ses seules ressources, il parvint, à force d'efforts ruineux, à découvrir le secret des Italiens et à produire de merveilleuses œuvres d'art, très recherchées aujourd'hui par les collectionneurs. Bernard de Palissy conserva son secret pour lui et ne chercha pas à en faire profiter l'industrie fran-

çaise. A la fin du XVIe siècle seulement, un Italien, du nom de Savone, vint fonder la première fabrique de faïence à Nevers. D'autres fabriques s'installèrent bientôt après à Rouen et autres villes. La France compte actuellement près de deux cents faïenceries dans une quarantaine de départements, et la valeur annuelle de leurs produits s'élève à une trentaine de millions de francs.

La faïence commune emploie, comme matières premières, de l'argile, de la marne, du quartz ou du sable quartzeux. L'émail, qui est opaque, diffère avec la coloration à obtenir. Pour la coloration blanche, on se sert d'un mélange de *calcine* (mélange d'étain et de plomb oxydé par calcination), de minium, de sable, de sel marin et de carbonate de soude. On ajoute à ce mélange de l'oxyde de cobalt pour colorer en jaune, de l'oxyde de cuivre pour colorer en vert, du bioxyde de manganèse pour colorer en violet. La coloration brune s'obtient avec un mélange de minium, de manganèse et de brique non réfractaire.

La cuisson exige des précautions spéciales. On enferme les pièces à cuire dans des enveloppes, dites *cazettes*, faites en terre réfractaire, de manière à empêcher le contact avec les fumées du four qui altéreraient l'émail.

L'usage de la faïence décorative se répand de plus en plus. On en fait des plaques, des panneaux, des frises, des corniches, des carrelages imités des Orientaux, des Espagnols et des Portugais. Cette nouvelle industrie date du milieu du XIXe siècle. Elle était déjà en grande prospérité aux XVe et XVIe siècles, à la suite des travaux de Bernard de Palissy et des célèbres potiers de Pesaro et d'Urbino, en Italie ; elle tomba ensuite complètetement dans l'oubli. Les faïenceries de Nevers, de Blois, de Gien, de Creil, de Montereau, de Langeais près de Tours, livrent au commerce de magnifiques faïences décoratives. Citons aussi l'établissement de Sarreguemines, détaché de la France à la suite de la guerre de 1870. MM. Deck et Collinot, de Paris, excellent à reproduire les œuvres de Palissy et le vieux *rouen*.

En Angleterre, faisons une mention spéciale pour la célèbre faïencerie de M. Minton.

Budapest, en Hongrie, forme également un centre remarquable de fabrication de la faïence décorative, au style oriental. Une seule manufacture de cette ville occupe 450 artistes décorateurs.

III. — FAIENCE FINE.

La faïence fine, appelée aussi *demi-porcelaine*, *cailloutage*, *granit*, *china*, diffère complètement de la faïence ordinaire. La pâte est blanche ou très légèrement jaunâtre, tandis que l'émail transparent est très dur. L'émail de la faïence ordinaire peut se rayer avec le fer ; celui de la faïence fine n'est rayable que par l'acier. Comme les poteries précédentes, la pâte de la faïence fine est encore opaque.

Au milieu du XVIe siècle, entre les années 1540 et 1560, il existait à Oiron, près de Thouars, dans les Deux-Sèvres, une fabrique de faïence fine. Cette poterie, dont on possède encore une soixantaine de pièces très rares et très recherchées, porte le nom de faïence de Henri II et de Diane de Poitiers. Le secret de cette curieuse fabrication tomba si complètement dans l'oubli que les Anglais ne parvinrent à fabriquer de la faïence fine que seulement deux siècles plus tard, en 1706, grâce aux travaux des deux célèbres potiers, Atsbury et Wedgwood. Atsbury découvrit la propriété du silex calciné de décolorer l'argile plastique ; Wedgwood trouva la glaçure transparente.

Wedgwood, né en 1730 à Burslem, fut certainement le plus grand potier du monde ; il perfectionna considérablement tous les genres de poteries, sachant imprimer à ses productions un caractère incomparable d'élégance, emprunté à l'art antique de la Grèce. Il fonda dans le comté de Stafford sa célèbre manufacture *Etruria*.

La France dut, pendant une longue suite d'années, acheter toute sa faïence fine à l'Angleterre. Mais, en 1824, M. de Saint-Amand, après avoir étudié les procédés anglais, vint lui-même fabriquer de la faïence fine à la manufacture de Sèvres. où Brongniart, alors directeur de cet établissement, mit à sa disposition des ateliers, des fours et des matières premières. On voit

combien cette fabrication est récente en France. Les manufactures de Creil et de Montereau furent les premières à entreprendre la fabrication de la faïence fine après les essais de M. de Saint-Amand à Sèvres.

On distingue trois espèces de faïences fines : la *terre de pipe*, ne pouvant supporter le feu, obtenue avec de l'argile plastique, du silex et de la chaux ; le *cailloûtage*, préparé avec de l'argile plastique et du silex; la *demi-porcelaine* ou *iron-stone* des Anglais, faite avec de l'argile plastique, du kaolin, du silex et du feldspath. Quant à la glaçure, transparente et incolore, elle varie avec chaque manafacture ; c'est généralement du sable, du feldspath, du minium, de la litharge, du borax, du cristal de verre, du carbonate de soude et du bleu de cobalt.

L'Angleterre occupe le premier rang. On compte 200 faïenceries dans un seul district du Staffordshire, à Burslem, Stoke-on-Trent, Longton, Newcastle-under-Tyne, etc. La célèbre manufacture de MM. Minton, à Stoke, occupe 1600 ouvriers. Fait bien singulier, ce centre d'industrie manque de matières premières et doit tout faire venir de loin : l'argile du Devonshire et du Dorsetshire, le kaolin et la pegmatite du Cornwall, le silex des côtes anglaises et françaises de la Manche.

La France possède peu de fabriques de faïence fine; les principales sont celles de Creil, de Montereau, de Bordeaux, de Gien, de Choisy-le-Roi. La manufacture de Sarreguemines, jadis française et la plus importante de l'Europe, occupe 2000 ouvriers.

Il existe aussi des fabriques en Belgique (Keramis et Jemmapes), en Bohême, en Allemagne, en Italie (Pise et Milan), en Espagne (Séville), en Portugal (Lisbonne), en Suède (Rörstand et Gustafberg près de Stockholm), en Hollande (Maestricht et Wyck). En dehors de l'Europe, on fabrique peu de faïence fine, excepté toutefois aux États-Unis.

IV. — GRÈS CÉRAMES.

On donne le nom de grès cérame à une pâte très dure, faisant feu sous le briquet, dense, imperméable et sonore. Elle

diffère des poteries communes et des faïences par son imperméabilité, provenant de ce que les matières ont été à demi vitrifiées, ce qui la rapproche de la porcelaine ; elle diffère toutefois de celle-ci par son opacité.

Le grès cérame, de fabrication très ancienne, était déjà connu des Égyptiens. En Europe, les Allemands le fabriquèrent les premiers à Ratisbonne, dès le VIII[e] siècle. Wegdwood, à la fin du XVIII[e] siècle, inventa, dans sa manufacture d'Etruria, un grès cérame d'une qualité particulière, désigné sous le nom de grès cérame *fin*.

Le grès cérame commun se compose d'argile plastique, de sable quartzeux ou de grès calciné et d'un peu de craie pour augmenter la fusibilité. En somme, ce sont les mêmes matériaux qui constituent les poteries communes. La cuisson, très longue et à haute température, produit un commencement de vitrification qui rend la pâte imperméable. Elle dure cinq jours au petit feu et trois jours au grand feu. On vernit en jetant du sel marin dans le four : le sel se volatilise et se combine à la surface de la poterie. On produit les marbrures en brûlant de l'écorce de bouleau dans le four. On fait aussi parfois usage d'un vernis composé de scories de forge ou de pierre ponce.

Les usages du grès cérame commun vont chaque jour en se multipliant : on en fabrique des cruches pour boissons et acides, des pots à beurre, des bonbonnes, des ustensiles de chimie, des fontaines, des terrines, etc. Les Anglais s'en servirent les premiers pour obtenir des tubes de canalisation, pour les lieux d'aisances, plus propres et plus sains que les tuyaux ordinaires grâce à leur imperméabilité. Cet usage s'est aussi généralisé en Belgique et en Allemagne.

Les grès cérames fins, à pâte fine, blanche ou colorée, susceptible d'un façonnage délicat, utilise les mêmes matières que la faïence fine · de l'argile, du kaolin, du feldspath, du silex, de la pegmatite, du sulfate de baryte, du sulfate de cuivre pour la coloration. On les vernit rarement. Quand on les vernit, on se sert de feldspath, de sable, de minium, de carbonate de potasse

et de borax calciné. La cuisson, très longue, exige une température élevée.

Les grès cérames fins servent à la fabrication des objets de luxe : théières, pots à lait, bonbonnières, encriers, vases à fleurs, camées, médaillons, bas-reliefs, sujets artistiques avec ornements en reliefs de colorations diverses.

L'Angleterre fabrique énormément de grès cérames communs et fins, d'une qualité supérieure à cause de l'habileté des ouvriers et des soins apportés à la préparation. Le principal centre est le district de Lambeth. L'Angleterre, comme d'ailleurs la Belgique et l'Allemagne, fabrique beaucoup de bonbonnes, de jarres, de cornues et de bouteilles pour usages industriels ; elle a inauguré ce genre spécial de fabrication.

La France possède des manufactures importantes dans l'Oise (Beauvais, Saint-Just, Saint-Samson, Saveignies, La Chapelle-aux-Pots, Auneuil, etc.), et dans le Nord (Louvroil, près de Maubeuge, le Cateau). On fabrique dans ces manufactures des ustensiles pour usines de produits chimiques et surtout des carreaux, plus durs que l'acier. Pour obtenir des carreaux polychromes, on place au fond d'un moule un casier à compartiments. Chacun des compartiments est rempli de la substance en poudre, diversement colorée. Ceci fait, on enlève le casier et on achève de remplir le moule, de manière à former la base du carreau. On comprime le tout à la presse et on porte au four.

Sarreguemines, dans la Lorraine annexée, obtient des grès fins aussi beaux que ceux des Anglais et imite parfaitement les porphyres, les jaspes et les bois pétrifiés. A signaler aussi les grès fins de Sept-Fontaines, dans le Luxembourg, et de Mettlach, en Prusse. Dans toute l'Allemagne on fabrique quantité de grès communs pour cruches à bière et ustensiles d'usines de produits chimiques. De même en Belgique, où il convient de signaler les fabriques d'Haine-Saint-Pierre et d'Andenne.

V. — PORCELAINES.

La véritable porcelaine, dite *porcelaine dure*, diffère de toutes les autres poteries par sa pâte très blanche et translucide. Comme

les grès, elle est imperméable, car la température de cuisson, supérieure à celle de fusion de la fonte, a produit un commencement de vitrification. Sa fabrication, très difficile, lui donne un prix élevé.

La porcelaine dure, connue des Chinois depuis le IIe siècle avant Jésus-Christ, s'introduisit au Japon vers le Ier siècle de l'ère chrétienne. Les Chinois l'ont beaucoup perfectionnée vers le xe siècle de notre ère.

Les Romains connaissaient la porcelaine, qu'on importait de la Chine. Sous le nom de vases *murrhins*, elle était employée uniquement par les gens très riches. Les Portugais et les Hollandais introduisirent la porcelaine chinoise en Europe au XVIe siècle. Le roi de France Charles VII avait cependant déjà reçu, au milieu du XVe siècle, du sultan de Babylone, un vase de porcelaine en don. On voulut dès lors fabriquer en Europe cette porcelaine chinoise, mais le secret était bien gardé et l'on ne put d'abord y réussir.

En 1695, Morin (de Saint-Cloud) découvrit une composition qu'on appela *porcelaine tendre française*, mais elle ne ressemblait en rien à la porcelaine dure chinoise. Cette porcelaine, blanche et translucide comme la véritable porcelaine, était très fusible et manquait de dureté. Ce fut Bœttger, en Allemagne, qui, en 1709, découvrit enfin le secret de la fabrication de la porcelaine chinoise.

Un maître de forges, nommé Schaw, ayant passé dans un chemin boueux, remarqua une terre blanche qu'il eut l'idée de vendre comme poudre à poudrer à la place de farine. Bœttger, s'étant fait un jour poudrer sa perruque avec cette terre, eut la fantaisie de fabriquer de la poterie en se servant de cette substance; à sa grande joie, cette poterie se trouva être de la porcelaine. Bœttger fonda immédiatement une fabrique de porcelaine dure à Meissen (Saxe), en cette même année 1709.

La terre blanche était simplement du kaolin, dont on ne connaissait aucun gisement en France. Les premières recherches dans notre pays furent infructueuses, quand, en 1768, la femme d'un pharmacien de Saint-Yrieix, près de Limoges, madame

Darnet, en découvrit fortuitement un dépôt considérable dans la localité qu'elle habitait. Son mari en envoya immédiatement un échantillon à la manufacture de Sèvres qui put dès lors fabriquer de la porcelaine dure. La découverte du kaolin fut également faite à la même époque par Guettard, à Alençon.

La première fabrique de porcelaine dure fut fondée en France à Strasbourg, en 1724, mais on y employait le kaolin allemand. En 1768, après la découverte de madame Darnet et celle de Guettard, on put enfin en fabriquer avec du kaolin français à Sèvres, à Limoges et dans d'autres villes.

Porcelaine tendre française. — Nous avons vu dans quelles circonstances fut découverte la porcelaine tendre française, en voulant imiter la porcelaine dure chinoise. Cette découverte, qui date des dernières années du XVIIe siècle, est attribuée à plusieurs auteurs : Pierre Chicanneau, Morin, Poterat, Révérend, etc. La porcelaine tendre, fabriquée à Sèvres, sous les règnes de Louis XV et de Louis XVI, porte le nom de *vieux Sèvres.* Tous les collectionneurs la recherchent aujourd'hui.

A proprement parler, la porcelaine tendre française constitue plutôt un verre qu'une poterie. On l'appelle tendre à cause de la grande fusibilité de sa couverte qui l'empêche de subir l'action du feu et la rend impropre aux usages domestiques. Sa pâte est de couleur laiteuse et d'une grande douceur ; son émail se laisse facilement pénétrer par la couleur et permet d'obtenir des décorations harmonieuses et pleines de charme. Très difficile à travailler, elle se fendille souvent, se déforme pendant la cuisson, et ne permet pas d'obtenir de grandes pièces.

La pâte se fabrique avec du sable quartzeux, du carbonate de soude pur, du salpêtre, du sel marin, de l'alun et du gypse. Ce mélange, fondu et pulvérisé après refroidissement, constitue la *fritte*, qu'on mélange avec de la craie et de la marne calcaire. On obtient une pâte, dont on façonne les objets qu'on cuit ensuite au four. On ajoute à la pâte de la gélatine, de la gomme ou du savon noir pour augmenter sa plasticité. Quant à la glaçure ou émail, on l'obtient en fondant un mélange de sable, de silex, de carbonate de potasse, de carbonate de soude et de

litharge, d'où un verre qu'on pulvérise et dont on recouvre la pâte cuite une première fois. On chauffe de nouveau au four pour fondre et fixer l'émail.

La fabrication de cette porcelaine fut suspendue à Sèvres en 1804, à l'arrivée de Brongniart qui voulut porter tous ses efforts sur la porcelaine dure. Elle ne fut reprise qu'en 1860, avec le même succès qu'autrefois. Très peu de manufactures fabriquent actuellement la porcelaine tendre française ; en dehors de Sèvres, on ne trouve guère à citer que les manufactures de Saint-Amand-les-Eaux, près de Valenciennes, et de Tournai, en Belgique.

Porcelaine tendre anglaise. — Cette porcelaine, postérieure à la découverte de la porcelaine dure chinoise par Bœttger, fut fabriquée à Chelsea à la fin du XVIIIe siècle. C'est une sorte de faïence à demi vitrifiée, qui se déforme moins facilement au feu que la porcelaine tendre française, mais dont l'aspect séduit moins.

La pâte se compose de sable siliceux, d'os calcinés et de carbonate de potasse, ou encore de kaolin, d'argile plastique, de silex et d'os calcinés. Le phosphate de chaux des os lui donne ses qualités spéciales. La glaçure est faite de kaolin, de craie, de silex, de borax et d'oxyde de plomb, ou encore de feldspath, de silex, de borax et de *flint-glass*.

La faïence fine anglaise, excellente pour fabriquer des objets de décoration, s'emploie surtout pour services à thé et à café. Les principales manufactures anglaises se trouvent dans le Staffordshire, où il convient de citer en première ligne l'établissement de MM. Minton et Copeland. A signaler aussi la fabrique *Etruria*, en Ecosse. On fabrique cette porcelaine à Sarreguemines (Lorraine) et en France, à Bordeaux et à Creil.

Porcelaine dure. — La porcelaine dure doit ses qualités à l'emploi du kaolin et du feldspath. Seule parmi les poteries à posséder de la translucidité (exception faite des porcelaines tendres qui sont des verres), elle est imperméable aux liquides, comme les grès cérames.

La composition de la pâte varie avec la nature des objets à fabriquer :

Porcelaine de table et de service : kaolin, sable et craie;

Porcelaine chinoise : kaolin, argile plastique, feldspath, sable et craie;

Porcelaine pour statuettes : kaolin, feldspath, sable, craie.

Chacune de ces substances se réduit séparément en poudre impalpable, au moyen de meules d'acier, puis on fait un mélange intime en ajoutant beaucoup d'eau. Il se dépose une pâte, nommée *barbotine*, qu'on pétrit et qu'on abandonne à elle-même dans une cave fraîche. On ajoute parfois du jus de fumier pour hâter la fermentation. La pâte subit en effet une sorte de fermentation; il se dégage de l'acide sulfhydrique qui mélange plus intimement les éléments. De plus, le feldspath se décompose et se transforme en kaolin. Ce *pourrissage*, au dire des Chinois, doit durer cent ans, mais on ne va pas aussi loin; on se contente de sept à huit mois. Un traitement électrique, de découverte récente, débarrasse aussi la pâte des traces de fer qu'elle peut contenir.

Ceci fait, on tourne, on moule ou on coule la pâte pour lui donner la forme convenable. Le *tournage* s'effectue sur un plateau horizontal, dit *tour à potier*, que l'ouvrier met en rotation avec le pied. On ébauche d'abord à la main, puis avec un calibre.

Les pièces accessoires se moulent à part et se collent sur la pièce principale. Le *moulage* s'obtient en pressant avec une éponge mouillée de la pâte contre le fond d'un moule. On soude les pièces avec de la barbotine. Le *coulage* se fait en coulant de la barbotine très liquide dans un moule en plâtre. Le plâtre absorbe de l'eau et il se dépose à sa surface une couche de barbotine résistante. On laisse alors écouler l'excès de barbotine encore liquide. Le coulage sert à fabriquer les pièces très fines, depuis les plus menues jusqu'aux vases les plus gigantesques. Ce procédé si simple et si rapide date seulement de 1850. On hâte parfois le dépôt de barbotine contre le moule en plâtre en fermant hermétiquement celui-ci, de manière à emprisonner de l'air dans son intérieur, puis le mettant dans une cloche où l'on fait le vide. L'air presse fortement la barbotine contre les parois

intérieures du moule et facilite le dépôt. Ce perfectionnement date de 1862.

La pièce façonnée est portée au séchoir, puis on la retouche pour en perfectionner la forme. On lui fait ensuite subir une première cuisson, dite en *dégourdi*. C'est alors qu'on procède au vernissage ou glaçure ; cette glaçure doit être incolore et transparente. Elle diffère légèrement d'une fabrique à l'autre. A Sèvres, on se sert de pegmatite, de feldspath et de quartz. On ajoute parfois ailleurs du kaolin, de la chaux ou du plâtre. Ces substances, très finement pulvérisées, donnent avec l'eau une bouillie très claire, dans laquelle on plonge l'objet en dégourdi. Celui-ci, à cause de sa porosité, absorbe de l'eau et il se dépose à la surface une couche des matières en suspension. On porte l'objet au four et on cuit à haute température pendant dix-huit heures environ. Cette cuisson constitue l'opération la plus délicate : une température trop basse ne donne pas de la porcelaine transparente ; une température trop élevée déforme les objets. On laisse refroidir lentement pendant quatre jours.

La porcelaine éprouve par la cuisson un retrait hélicoïdal d'un dixième environ, d'où la nécessité de souder les anses de travers pour que la torsion en retrait les remette droites.

La porcelaine sert à fabriquer des ustensiles de ménage, des objets de décoration, principalement des vases. Nous insisterons davantage sur quelques applications plus particulières.

Statuettes. — Les statuettes de porcelaine se fabriquent en *biscuit*, c'est-à-dire en porcelaine non émaillée,

En 1800, Spode, en Angleterre, eut l'idée d'ajouter des os calcinés à la pâte, d'où production d'une teinte légèrement jaunâtre, semblable à l'ivoire, plus avantageuse que la couleur trop blanche de la porcelaine ordinaire au point de vue artistique. Ce genre particulier de porcelaine se nomme *parian*.

Fleurs. — La fabrique de Meissen, en Saxe, fondée par Tchirnaüs et Bœttger, l'inventeur de la porcelaine, eut longtemps le monopole de la fabrication des fleurs et des figurines en porcelaine, admirablement fouillées. On en fait aujourd'hui un peu partout.

Boutons. — Les boutons en faïence et en porcelaine ont été inventés en Angleterre par l'ingénieur Prosser. Le même genre de fabrication a été introduit à Paris, en 1845, par M. Bapterosses. Tout se fait mécaniquement, à un bon marché extraordinaire.

Dents. — Les dents en porcelaine se fabriquent surtout aux États-Unis. On les nuance en rose en ajoutant de l'oxyde d'or à l'émail (feldspath et quartz), en rouge sang avec de l'oxyde de manganèse, pour imiter les gencives, en gris avec reflet bleu avec du platine pour imiter la teinte naturelle des dents.

Lithophanies. — On moule par compression de la pâte de porcelaine dans des moules en plâtre. Les teintes s'obtiennent uniquement par les différences d'épaisseur de la plaque.

Filtres. — On fabrique des filtres, système Pasteur, fournissant de l'eau privée de microbes. La porcelaine est simplement cuite en dégourdi, afin de laisser de la porosité à la pâte.

Statistique. — **France.** — On compte en France environ 150 fabriques de porcelaine, réparties dans seize départements. La valeur annuelle des produits s'élève à 26 millions de francs. Le département de la Haute-Vienne tient de beaucoup la tête, avec 80 fabriques et un produit de 12 millions. Ce département représente donc à lui seul la moitié de la production française. Limoges possède une trentaine de manufactures, le reste étant réparti dans les environs. Cette concentration de l'industrie de la porcelaine dans la Haute-Vienne tient à la proximité des gisements de kaolin de Saint-Yrieix, les seuls connus pendant longtemps en France. Cette industrie tend cependant à se déplacer vers l'Est, du côté des régions houillères du Berry (Cher et Allier), où le combustible se trouve à bon marché et où les gisements de kaolin abondent. Enfin, après Limoges, le centre le plus important de fabrication est Paris, qui s'est fait une spécialité du grand art. Les fleurs artificielles en porcelaine de Paris sont d'une fraîcheur admirable et d'une imitation parfaite. On les fabrique à la main, avec de la pâte gommée. Bayeux possède une manufacture remarquable de porcelaine à grand feu, pour ustensiles de ménage et appa-

reils de physique et chimie ; le kaolin s'extrait à Pieux, dans le département de la Manche.

Il convient de faire une mention spéciale pour la célèbre manufacture de Sèvres, près Paris, fondée en 1769 par Macquer et appartenant à l'État. C'est un admirable laboratoire d'essai, grâce auquel la France tient le premier rang dans le monde pour la fabrication de la porcelaine. Ses directeurs, tous savants illustres, Brongniart, Ebelmen, Salvétat, Lauth, Vogt, Deck, ont fait progresser cette belle industrie. Les objets de grande valeur artistique sont offerts en cadeau par l'État aux grands personnages ou servent à meubler les palais. On fabrique aussi des objets plus vulgaires pour récompenser les membres des commissions gouvernementales, offrir en cadeau aux sociétés de bienfaisance, aux loteries, aux concours de tir et de gymnastique, etc.

Étranger. — Il convient de citer les manufactures d'État de Berlin, de Meissen en Saxe, de Nymphenbourg en Bavière, de Vienne (Autriche), de Copenhague, de Saint-Pétersbourg, de Constantinople ; ces diverses manufactures, de même que celle de Sèvres, exécutent d'admirables travaux d'art en dehors de toutes considérations mercantiles.

L'Angleterre fabrique peu de porcelaine dure et donne la préférence à sa porcelaine tendre.

Les manufactures allemandes de Silésie, de Cobourg-Gotha, font une rude concurrence à la France.

Citons aussi les établissements de la Bohême et de la Hongrie, de Bruxelles, de Florence et de Milan, de Séville en Espagne, du Portugal.

Les porcelaines du Japon et de la Chine, malgré leur décadence très accusée, sont encore très remarquables. Cette fabrication occupe un million d'ouvriers et de décorateurs tant en Chine qu'au Japon. Il n'existe rien de pareil en Europe.

VI. — DÉCORATION DES POTERIES.

Coloration des pâtes. — Les anciens obtenaient déjà des poteries diversement colorées, en se servant simplement de terres

naturelles. Les progrès de la chimie ont permis de colorer artificiellement les pâtes avec des oxydes métalliques. L'adjonction des oxydes de fer aux éléments constitutifs de la pâte donne du jaune, du rouge ou du brun suivant cuisson plus ou moins forte; le bioxyde de manganèse produit du violet ou du brun; l'oxyde de chrome du vert-jaunâtre dans une atmosphère réductrice; l'oxyde de cobalt du bleu; l'oxyde d'urane du jaune ou du brun. M. Vogt a imaginé de fabriquer des plaques de faïence diversement colorées en entremêlant des pâtes diversement colorées. La grande difficulté à vaincre est d'obtenir des pâtes ayant un retrait égal à la cuisson.

Peinture sur poteries communes. — Au lieu de colorer la pâte, on préfère le plus souvent la recouvrir d'un vernis ou d'un émail coloré. En Bohême, on fabrique énormément d'objets en pâte très commune, recouverte d'un vernis composé d'essence de térébenthine ou d'huile de lin avec du succin et une matière colorante. Pour les poteries communes, on procède par *engobage*. On arrose la poterie desséchée avec une bouillie composée d'eau, d'argile grasse et d'oxydes métalliques colorants, puis on porte au four.

Peinture sur faïence et porcelaine. — La peinture sur faïence fine et sur porcelaine, très délicate, exige des soins spéciaux. Le peintre doit connaître les modifications que les couleurs subissent au four. On se sert de poudres colorées, obtenues en calcinant ensemble des oxydes métalliques associés à des fondants (quartz, feldspath, borax, acide borique, salpêtre, carbonate de potasse, minium, litharge, oxyde de bismuth). L'oxyde mélangé au fondant est délayé dans de l'essence de térébenthine ou de lavande.

On divise les matières colorantes en trois classes : les couleurs *grand feu*, pouvant supporter sans altération les températures les plus élevées; les couleurs *dures*, supportant encore une température assez forte; les couleurs *tendres*, que la chaleur altère facilement. Les couleurs grand feu sont rares : oxyde d'uranium (rouge et orange), oxyde de cobalt (bleu), oxyde de manganèse (brun), oxyde de fer (brun), oxyde de titane (jaune). Les cou-

leurs tendres sont plus communes : pourpre de Cassius (pourpre, rouge et rose), chlorure d'argent (rouge), chlorure de plomb (jaune), protoxyde de cuivre (rouge), bioxyde de cuivre (vert) oxyde d'antimoine (jaune), etc.

Les couleurs grand feu se déposent sur la pâte ayant déjà subi la première cuisson (*biscuit*), puis on les recouvre de la glaçure et on cuit finalement au grand feu. Pour les couleurs tendres, il faut opérer autrement : après cuisson de la poterie au grand feu, on dépose la couleur, puis on cuit pour vitrifier dans un moufle chauffé à température convenable. La manufacture de Sèvres a fait d'importantes recherches pour découvrir de nouvelles couleurs grand feu, les plus faciles à employer dans la peinture sur porcelaine. Deck et M. Chaplet (de Choisy-le-Roi) ont parfaitement réussi à imiter les porcelaines *flammées*, d'un rouge violent, que fabriquent les Chinois.

Impression sur faïence et porcelaine. — La peinture au pinceau, très artistique, demande un long temps et est très coûteuse. L'industrie y a substitué des procédés plus rapides, analogues à ceux de la chromolithographie. La couleur, broyée avec de l'huile de lin cuite, est étendue sur une plaque de cuivre gravée en creux ; on tire à la presse une épreuve du dessin sur un papier imprégné de mucilage de graine de lin. On comprime le papier sur la poterie, on imbibe d'eau pour enlever la feuille et le dessin reste ainsi décalqué sur la pâte. On chauffe de manière à volatiliser l'huile, on recouvre de la glaçure et on porte au four.

On opère parfois autrement. On tire, avec la plaque de cuivre gravée en creux, une épreuve sur feuille de gélatine, en enduisant la plaque de cuivre d'un mélange d'huile de lin et d'essence de térébenthine. On comprime la feuille de gélatine contre la surface de la poterie, de manière à la décalquer. On saupoudre cette surface avec la poudre colorée qui adhère seulement sur les traits du dessin. Il ne reste plus qu'à laisser dessécher, enlever l'excès de poudre colorée avec un pinceau, cuire légèrement, recouvrir de glaçure et porter au four.

Lustrage. — Les Anglais ont imaginé un procédé de lustrage

pour rehausser les décorations de la faïence et de la porcelaine. Après avoir peint la poterie par les procédés ordinaires, on la recouvre de la glaçure, puis on la chauffe dans une cazette dont on a enduit les parois d'un mélange d'argile, de chlorure de plomb et de chlorure de calcium. La cazette renferme en outre certains oxydes métalliques. La chaleur volatilise les chlorures des parois et les oxydes métalliques; les vapeurs se fixent à la surface de la poterie en produisant le lustrage.

Il existe encore d'autres procédés de lustrage. A Meissen on recouvre la poterie, peinte et émaillée, d'or fulminant mélangé avec de l'essence de lavande, puis on chauffe. Il se dépose à la surface de l'émail une couche très mince d'or, transparente, à reflets irisés, laissant apercevoir nettement les décorations et l'émail. A Burgos, on opère de même avec un sulfure d'or et de potassium, broyé avec de l'essence de lavande et un fondant; le lustrage est d'une teinte rosée jaunâtre. Pour obtenir des reflets nacrés, on se sert d'un mélange d'azotate de bismuth, d'orcanson et d'essence de lavande. On y ajoute de l'azotate d'urane pour colorer en beau jaune et de l'azotate de fer pour colorer en rouge.

Dorure, argenture et platinage des poteries. — La poudre d'or, mélangée avec une solution de gomme, est étendue au pinceau sur la faïence ou sur la porcelaine à glaçure fusible. Pour la porcelaine à glaçure peu fusible, il faut ajouter de l'azotate basique de bismuth à la solution gommée. On porte ensuite au four. On brunit pour faire briller l'or mat.

La poudre d'or s'obtient en précipitant une dissolution d'or dans l'eau régale par du sulfate de fer ou de l'acide oxalique. On utilise aussi les résidus des batteurs d'or; ces résidus sont broyés avec du miel et l'on enduit avec cette pâte l'intérieur de coquilles de moules. Cet or se nomme pour cette raison *or en coquilles*. On traite ces coquilles par l'eau bouillante pour en détacher la poudre d'or.

L'argenture se pratique beaucoup plus rarement que la dorure, au moyen des mêmes procédés. La poudre d'argent se prépare par précipitation d'une dissolution de nitrate d'argent

par le cuivre. Il convient de recouvrir l'argenture d'une très faible couche d'or, afin d'éviter l'altération de l'argent par l'acide sulfhydrique.

Le platinage s'obtient avec de la poudre de platine, produite par précipitation du chlorure de platine par ébullition avec de la potasse caustique et du sucre, ou par calcination du chloroplatinate d'ammoniaque (précipité jaune obtenu en traitant le chlorure de platine par le chlorhydrate d'ammoniaque).

En Angleterre, on se sert de la galvanoplastie pour dorer, argenter et cuivrer les poteries. On peint les dessins sur la poterie avec une pâte composée de :

Azotate d'argent	120 parties.
— de mercure	20 —
Bromure de sodium	30 —
Oxyde de bismuth	10 —

On cuit, puis on recouvre la poterie métallisée d'or, d'argent ou de cuivre, etc., par les méthodes électrolytiques ordinaires, au moyen du bain convenable.

Émaux. — On fond un mélange de sable, de minium, de borate de chaux et d'oxydes métalliques colorants, puis on pulvérise. Cette poudre d'émail, mélangée avec de l'essence de térébenthine, s'applique au pinceau sur la poterie et on cuit dans un moufle. Salvetat imagina cette méthode à la manufacture de Sèvres.

Limoges exécute des émaux en grisaille, qu'on imite beaucoup à Sèvres. Dès le XVIe siècle, ces émaux étaient la gloire des artistes limousins. La grisaille s'obtient en recouvrant d'abord la poterie d'un émail foncé, puis piquant avec un émail blanc opaque qui, suivant son épaisseur, laisse voir plus ou moins le fond gris. On communique de l'éclat et de la vivacité en recouvrant d'une couche très mince d'or, d'argent ou de platine.

M. Fouqué (de Toulouse) grave l'émail en creux avec l'acide fluorhydrique, puis dore les cavités avec un ton mat, d'où production de jolis effets.

Décorations en relief. — On ajoute souvent des ornements en relief : anses, statuettes, fleurs, feuilles, fruits, etc. On trouve

déjà de tels ornements sur les faïences de Luca della Robia, au commencement du xve siècle, sur celles de Bernard Palissy au milieu du xvie. Les plats de Bernard Palissy sont ornementés de poissons, de serpents, de grenouilles, de crabes, de lézards, de coquilles, de végétaux, de fruits, etc. Wedgwood, au xviiie siècle, exécutait des ornementations semblables sur ses grès fins, auxquels il donnait les noms de *basalte*, *jaspe*, *biscuit*, *egyptian*, *bamboo*, etc. Paris, Blois, Nancy imitent de nos jours ces ornementations en relief.

Louis Robert, à la manufacture de Sèvres, imagina de décorer en relief le biscuit de porcelaine avec des pâtes identiques à celle de porcelaine, mais diversement colorées ; on peut aussi appliquer de la pâte blanche sur l'objet en pâte colorée. On obtient ainsi une décoration d'une extrême douceur et du plus heureux effet. Copeland, en Angleterre, décore ses poteries avec des pastilles et des perles en émail ayant beaucoup d'éclat.

Pour imiter les broderies, les dentelles, on trempe de la vraie broderie, de la vraie dentelle, dans de la barbotine, puis on applique contre la poterie. Le tissu, détruit par la cuisson, donne une reproduction parfaite.

Signalons enfin les ornementations en bronze doré, exécutées principalement à Paris, mais ne se rattachant qu'indirectement à notre sujet.

Nous ne saurions mieux terminer notre étude sur la céramique qu'en reproduisant ces quelques lignes, extraites du rapport de M. Lœbnitz au sujet de l'Exposition universelle de 1889.

« Une des causes principales du peu de satisfaction recueilli par nos artistes céramistes modernes dans leurs travaux est due au développement déplorable du goût public pour le vieux. C'est là vraiment un des côtés faibles de notre époque, pourtant si favorable au progrès. Car n'est-ce pas l'inverse du progrès que la manie contemporaine de ne vouloir posséder chez soi que des objets des époques écoulées ?

» Cela est pourtant ainsi dans ce siècle de lumière. Nos artistes industriels n'ont pas de concurrents plus terribles que leurs

aînés d'il y a deux ou trois cents ans, et encore ces concurrents ne luttent pas à armes égales : ils se présentent à l'amateur avec un prestige et une auréole qui excusent presque tous leurs défauts et font préférer leurs œuvres. Que de fois n'avons-nous pas entendu dire : « Ce n'est pas joli du tout, mais c'est » vieux ! » — Et alors on achète, et souvent fort cher !

» Une faïence moderne bien fabriquée et d'une valeur artistique réelle attire à peine les regards, encore moins les écus, tandis qu'un tesson ancien, ou considéré comme tel, est couvert d'or, malgré sa banalité.

» Si les amateurs de vieux savaient tout ce qu'il y a de neuf falsifié parmi les objets qu'ils payent comme du vieux, ils seraient plus prudents et plus circonspects. Qu'ils n'ignorent pas que les fabricants de vieilles faïences, comme ceux qui produisent des vieux meubles, sont d'une adresse prodigieuse. Le plus grand nombre de leurs pièces, qui d'ailleurs portent des marques anciennes très habilement contrefaites, sont vieillies artificiellement. Au besoin les truqueurs n'hésitent pas à pratiquer quelques écornures qui produisent toujours de l'effet et la pièce se vend alors un bon prix, surtout si elle est couverte d'une poussière très adhérente. Et cela va en Belgique, en Angleterre, en Allemagne, en Espagne, en France, etc., chez les marchands de curiosités et constitue un commerce fort lucratif dont la bêtise humaine fait les frais. »

La conclusion de l'auteur est celle-ci :

« Amateurs de céramique, n'achetez pas une pièce de porcelaine, de faïence ou d'émail, parce qu'elle est vieille, mais seulement parce qu'elle est belle et que sa vue vous réjouit. De cette façon vous ne serez jamais trompés et nos excellents artistes industriels y trouveront leur compte. Ils seront ainsi encouragés à produire des œuvres plus complètes dans lesquelles leur talent, délivré de l'obligation de s'inspirer toujours des produits anciens, prendra un plus libre essor et pourra trouver la note vraie d'un art contemporain. »

INDUSTRIES MÉCANIQUES

ET

ARTISTIQUES

CHAPITRE PREMIER

QUINCAILLERIE ET MACHINES-OUTILS

I. — QUINCAILLERIE.

Nous comprenons, sous le nom de quincaillerie, la multitude des menus objets en métal qui servent aux usages les plus variés, en y faisant entrer les plumes, les épingles, les aiguilles, les articles de serrurerie, de coutellerie, etc.

Plumes. — Les anciens écrivaient à l'aide d'un roseau effilé ou d'une plume d'oie, au bec fendu. Les Anglais imaginèrent les premiers les plumes métalliques en cuivre ; le cuivre fut bientôt remplacé par la tôle d'acier. James Perry (de Londres) a surtout contribué à répandre l'usage des plumes métalliques. On en fabrique annuellement pour 20 millions de francs dans le monde entier. Les principales usines sont situées à Birmingham, où se trouvent les ouvriers les plus habiles et le meilleur acier. En 1847, la fabrique Blanzy, Poure et Cie fut créée en France, à Boulogne-sur-Mer; plus tard une nouvelle fabrique française s'établit à Laigle (Orne).

L'acier étant bientôt altéré par l'encre ordinaire, on a essayé de faire des plumes en or, en platine; M. Mallat (de Paris) a imaginé, en 1842, les pointes en rubis et en iridium. Tous ces essais ont échoué à cause du prix par trop élevé de ces plumes.

Aiguilles. — Les aiguilles d'acier furent inventées en Angleterre vers 1700. Les principales fabriques sont celles de Red-

ditch, près Sheffield, en Angleterre, d'Aix-la-Chapelle et d'Iserlohn, en Allemagne ; de Laigle, en France.

Épingles. — Les épingles se font en fer ou en laiton ; on préfère celles de fer, plus résistantes, plus effilées et meilleur marché. En 1839, M. Anfrie imagina d'étamer les épingles de laiton, en les faisant bouillir pendant plusieurs heures dans une solution de crème de tartre et d'étain en grenaille, puis lavant, séchant et frottant avec de la sciure de bois. L'Europe en fabrique 30 milliards par an, d'une valeur de 12 millions de francs.

Les épingles, faites jadis à la main, passaient successivement par quatorze ouvriers ayant chacun leur spécialité ; elles se fabriquent aujourd'hui entièrement à l'aide de machines. Une épingle, prise à l'usine, coûte 2 à 3 millièmes de centime.

L'Angleterre fabrique le plus d'épingles, 50 millions par jour. Citons surtout les usines de Birmingham, de Londres, de Strandes, de Dublin. En France, on les fabrique principalement à Laigle, Rugles, Gravigny, Paris, Viroflay et Orléans. Birmingham en fabrique plus que la France entière. Laigle et Rugles occupent cependant 6000 ouvriers. Citons encore les épingles de Hollande, d'Allemagne et celles de Vienne en Autriche, ces dernières argentées électro-chimiquement.

Clouterie. — On distingue plusieurs variétés de clous, suivant les usages auxquels on les destine : chaussures, construction, menuiserie, maréchalerie, etc.

On fabrique encore beaucoup de clous forgés à la main, car ils pénètrent mieux que les clous fabriqués à la mécanique avec du fer tendre ou de la tôle de fer. Le fer obtenu avec du charbon de bois est préférable au fer à la houille, car il se soude mieux. En France, les clous forgés à la main se fabriquent surtout dans les Ardennes, dans les environs de Charleville, dans le Nord (Valenciennes, Saint-Amand, Condé), dans la Loire (Saint-Étienne, Saint-Chamond, Firminy), dans l'Isère (La Mure, Izeaux), dans l'Orne (Tinchebray) et dans l'Ariège. Citons aussi les clous de l'Angleterre, de la Belgique et les excellents clous blancs de Norvège, fabriqués à Christiania.

Paris inaugura, vers 1815, la fabrication mécanique des clous en fils de fer, dits *pointes de Paris*. L'Angleterre imagina en même temps la fabrication mécanique des clous avec la tôle de fer. Cette fabrication se faisait à froid ; mais, un peu plus tard, les États-Unis inventèrent des machines qui transformaient en clous des barres de fer chauffées au rouge. Ces machines permettent d'obtenir 50 000 clous en douze heures. Les principales clouteries mécaniques de France sont situées dans la Franche-Comté, en Lorraine, en Bourgogne et dans les Ardennes.

Fils métalliques. — Les premiers fils de fer furent fabriqués par Rudolf, à Nuremberg, au XVe siècle. Au commencement du XVIe siècle, Richard d'Archal monta une tréfilerie si renommée en France, que le nom de fil d'Archal est resté au fil de fer.

Pour fabriquer un fil métallique, on étire d'abord le métal au laminoir, puis on le fait passer dans les trous d'une filière, en ayant soin de le *recuire* afin d'empêcher sa rupture. Quand on avait besoin de fils de fer d'une qualité supérieure, on se servait jadis de fer fabriqué avec du charbon de bois ; on utilise aujourd'hui l'acier déphosphoré. Tels sont les fils destinés à l'horlogerie, aux instruments de musique, aux montures de parapluie, aux câbles, aux filets pare-torpilles, etc. On étire aussi le cuivre, l'or et l'argent pour la bijouterie, la passementerie, les tresses d'épaulettes, etc.

La télégraphie emploie les fils de fer galvanisé et les fils de bronze.

Mountain, de Castelford (Yorkshire, Angleterre), a imaginé de fabriquer des fils en découpant en spirale un cylindre de métal, procédé très économique.

Les câbles en fils d'acier, pour cordages de marine et pour mines, se fabriquent en France, à Angers (usine Bessonneau et Compagnie des Ardoisières) et à Tronçais (Compagnie de Châtillon et Commentry).

Les tamis, jadis faits avec de la soie ou du crin, furent construits en fils métalliques dès 1778 par Roswag, de Schlestadt (Alsace). Les grillages métalliques se fabriquent actuellement à

la mécanique. Les toiles sans fin pour papeterie furent tout d'abord employées en Angleterre. Halifax et Bradford, en Angleterre, fabriquent les meilleurs fils fins à cardes. Les cordes de piano, qui venaient jadis de l'Angleterre, de l'Allemagne et de l'Autriche, sont très bien préparées maintenant en France par l'usine de Firminy. Ces cordes doivent avoir une résistance de 200 kilos par millimètre carré de section.

Les fils se font principalement en France (Champagne, Franche-Comté, Limousin, Laigle), en Angleterre (Birmingham), en Allemagne (Hanovre, Westphalie), en Belgique (Liège, Bruxelles), en Suède, en Autriche, en Suisse et en Russie.

Quincaillerie. — On désigne plus spécialement, sous le nom de quincaillerie, les ustensiles en fer battu pour usages domestiques, les poteries de fer, les fontes émaillées, les petits instruments et outils en fer, en laiton, pour les constructions, les appartements, la menuiserie, la sellerie, l'armurerie, etc., etc.

Le fer *estampé* ou *battu* a été fabriqué vers 1825 par MM. Japy frères, à Beaucourt, inventeurs également de la visserie mécanique. La tôle de fer est découpée, emboutie sous le balancier, vernie, étamée ou émaillée. Cette industrie demande un outillage considérable. L'émaillage du fer, pour usages culinaires, s'obtient avec un mélange de 130 parties de *flint-glass*, 20,5 de carbonate de soude et 12 d'acide borique ; ou encore 48 parties de sable, 30 de minium, 30 de carbonate de soude et 10 d'acide borique.

L'émaillage de la fonte exige deux couches successives : la première, composée d'un mélange de sable, d'argile, de borax et d'une poudre préparée en calcinant et broyant du quartz, du borax et du spath fluor ; la seconde, formée de spath fluor, d'oxyde d'étain, d'oxyde de zinc, d'os calcinés, de bleu de cobalt, de feldspath, de borax, de carbonate de soude et de salpêtre.

Les outils (boulons, enclumes, étaux, marteaux, soufflets de forge, vis, ferrures, poinçons, éperons, patins, chaînes, tôles vernies et perforées, etc., etc.) se fabriquent à Paris, dans les Ardennes, dans la Nièvre, dans le Nord, etc. Maubeuge possède plusieurs établissements d'une très grande importance pour

quincaillerie commune ; Paris fait spécialement la quincaillerie fine. La Loire et les Ardennes ont la spécialité de la grosse ferronnerie. Saint-Étienne et la Picardie font le bon marché. La quincaillerie française, si dépréciée au milieu du XIXe siècle, est parvenue à égaler les quincailleries anglaise et allemande. A citer aussi les produits de la Belgique, de la Suisse et de la Suède.

On peut faire entrer dans la quincaillerie les objets en cuivre (chaudrons, ustensiles de ménage), en laiton (robinets en cuivre jaune, patères, rosaces, objets d'ornementation pour appartements en cuivre estampé), en bronze (cloches, clochettes, sonnettes, timbres, grelots).

Serrurerie. — La serrurerie comprend la fabrication des serrures, des coffres-forts de sûreté, des espagnolettes et crémones, des grilles, balcons, rampes d'escalier, fermetures de magasins, etc.

Les serrures, très compliquées jusqu'à la fin du XVIIe siècle, furent simplifiées et très perfectionnées en Angleterre, par Baron en 1774 et par le célèbre ingénieur Bramah, en 1784. Regnier, en France, inventa le cadenas et la serrure à lettres.

Les Anglais eurent les premiers l'idée de rendre les coffres-forts incombustibles au moyen de sels qui se volatilisent au moment de l'incendie et empêchent la combustion du papier.

La serrurerie décorative, jadis en grand honneur en France, se retrouve encore dans les vieilles maisons sous la forme de grilles, de balcons, de rampes d'escalier superbes et monumentales. La décadence fut complète pendant la première moitié du XIXe siècle, mais la serrurerie décorative revient maintenant à la mode plus que jamais.

L'Angleterre inventa la fermeture des magasins avec des tôles de fer. On se sert aussi de persiennes et de jalousies en tôle repoussée pour la fermeture des portes et des fenêtres. Les Anglais font un grand usage de planches en tôle embouties comme planchers de maisons et marches d'escalier. Les escaliers en fer constituent une grande sécurité en cas d'incendie.

L'usage du fer et de la fonte se généralise d'ailleurs davantage chaque jour dans les constructions.

Les grands centres de la fabrication de la serrurerie en France sont : Paris, le Jura, les Ardennes, l'arrondissement d'Abbeville (Ault, Gamaches, Saint-Valery, Moyenneville) qui fabrique la serrurerie dite de *Picardie*, Tinchebray dans l'Orne et les environs (Villedieu-les-Poêles, Sourdeval, Montsecret), qui fabriquent en outre de menus objets en métal : chandeliers, lampes, pompes, alambics, chaudières, robinets, poêles, cloches, ustensiles de ménage, etc.

En Angleterre, on fabrique énormément de serrurerie à Londres, à Wolverhampton, Birmingham, surtout à Wolverhampton où abondent le fer et la houille. Les Anglais furent longtemps seuls à fabriquer mécaniquement la serrurerie à bon marché et fort bien faite.

Coutellerie. — La coutellerie comprend plusieurs subdivisions :

1° Coutellerie et orfèvrerie de table (couteaux à fruit, services à découper, truelles, etc.);

2° Coutellerie fermante (couteaux de poche, canifs, etc.);

3° Coutellerie à lames fixes (couteaux de boucher, de chasse, de cuisine, de peintre, poignards);

4° Ciseaux, sécateurs, etc ;

5° Rasoirs;

6° Quincaillerie fine (pinces à épiler, limes à ongle, tire-bouchons, garnitures de nécessaire);

7° Taillanderie (faux, limes, scies).

La fabrication de la coutellerie s'opère généralement dans quelques centres principaux, le plus souvent à proximité des lieux de production du meilleur acier. Cet acier est forgé, limé, puis trempé et recuit, ce qui lui donne la dureté nécessaire. Le tranchant et l'éclat s'obtiennent par l'émoulage, l'aiguisage et le polissage. Les manches se fabriquent avec du métal, de l'ivoire, des cornes ou des bois durs, parfois avec de la faïence et de la porcelaine, comme cela se pratiquait surtout au XVIIIe siècle.

Les grands centres de fabrication sont : Londres et Sheffield en Angleterre ; Solingen en Allemagne ; Paris, Thiers, Nogent et Châtellerault en France ; Steyr en Autriche.

Londres fabrique la coutellerie de luxe, Sheffield la coutellerie commune. Sheffield constitue le plus grand centre du monde ; on y compte 12000 ouvriers. Cette ville, déjà célèbre pour sa coutellerie au XIVe siècle, tirait ses aciers de Solingen, en Allemagne. Elle utilisa les aciers anglais seulement au XVIIe siècle et dès lors son industrie reçut un immense développement. Sheffield eut pendant longtemps le monopole de la fabrication des limes.

Solingen, dans la Prusse Rhénane, dont la coutellerie était déjà célèbre au moyen âge, est le centre d'une fabrication importante qui s'étend dans les environs. Cette ville doit sa prospérité à la proximité des houilles du bassin de la Ruhr, aux aciers excellents du Stahlberg, à ses carrières de meules, à ses belles chutes d'eau fournissant la force motrice, aux mœurs simples des ouvriers et au savoir des fabricants qui lèguent leurs usines à leurs enfants de génération en génération.

Nogent, dans la Haute-Marne, et Langres fabriquent les lames, expédiées ensuite à Paris pour y être montées avec luxe. Le travail s'y fait en famille, dans de petits ateliers. Le pays fournit de bonnes meules, mais il faut faire venir la houille et l'acier de très loin. Thiers, le plus grand centre de fabrication en France, occupe de 12 000 à 15 000 ouvriers ; le travail a lieu aussi en famille, à un très bon marché, grâce à sa grande division. Châtellerault possède quelques remarquables fabriques ; la première fut fondée par Mermilliod en 1838. La coutellerie française rivalise actuellement avec les coutelleries anglaise et allemande.

La coutellerie autrichienne de Styrie, de Carinthie et du Tyrol fut jadis la plus renommée, grâce à ses excellents aciers naturels de la Styrie. Les faux de la Styrie sont encore les plus recherchées. Steyer représente un centre assez important de fabrication. A citer aussi les fabriques de Kirchdorf et de Vaidhofen, au pied des Alpes, de Worfsberg, de Neumarkt et d'Ins-

pruck, celles établies dans les vallées de la Drave, de la Save et de l'Inn, enfin celles d'Enns et de Vienne.

En dehors de ces principaux centres de fabrication, il convient de signaler la coutellerie de Namur, en Belgique, les limes pour horlogerie de la Suisse, les couteaux de chasse du Wurtemberg, les faux de Stuttgart, la coutellerie de Saxe, les rasoirs de Stockholm et d'Eskiltuna en Suède, la coutellerie des environs de Nijni-Novogorod en Russie, les couteaux catalans de l'Espagne, les couteaux ornés de pierreries de la Turquie, les excellentes haches d'abatage des États-Unis.

II. — MACHINES-OUTILS.

Les machines-outils ont pris depuis un siècle une importance capitale dans l'industrie; il n'existe peut-être plus actuellement une seule branche industrielle où l'on ne fasse usage de machines-outils. Parfois, même, tout se fabrique entièrement à la mécanique.

La description des machines-outils employées dans chaque industrie spéciale ayant été faite, nous devons nous borner à signaler quelques machines importantes, d'un usage général.

Machines-outils pour métaux. — Ces machines ont été créées au moment du développement gigantesque pris par la métallurgie à l'apparition de la machine à vapeur. Cette dernière fut la cause du développement de toutes les industries mécaniques, car la possession d'un moteur de grande puissance devait forcément entraîner à sa suite la création d'un outillage mécanique.

Les premières machines-outils, construites primitivement à Soho, en Angleterre, dans les ateliers de Watt, à la fin du XVIIIe siècle, se fabriquèrent ensuite dans de vastes usines, créées un peu partout dans ce même pays. La France imita cet exemple dès 1815, puis ce fut le tour de l'Allemagne et des États-Unis. L'Angleterre et les États-Unis fabriquent actuellement les machines les plus diverses et les plus perfectionnées;

viennent ensuite la France et l'Allemagne. Ces quatre nations fournissent des machines-outils au reste du monde.

Les machines-outils pour métaux sont très variées: tours, machines à raboter, à mortaiser, à aléser, à percer, à fraiser, à tarauder, à tailler les engrenages, à poinçonner et à cisailler, étaux-limeurs, etc.; toutes ces machines sont construites avec une précision mathématique véritablement merveilleuse.

Machines à manœuvrer les fardeaux. — Ce sont les crics, vérins, poulies, moufles, treuils, palans, grues, chèvres, monte-charges, ascenseurs. Les premiers ascenseurs, mus par l'eau sous pression, datent de 1867.

Presses hydrauliques, pompes, pompes à incendie. — Les presses hydrauliques ont reçu des perfectionnements: MM. Desgoffe et Ollivier, de Paris, augmentent la pression par l'enroulement d'une corde dans l'intérieur du cylindre, mécanisme n'exigeant plus qu'un volume d'eau constant. Le cuir embouti, qui a seul rendu la presse hydraulique pratique en empêchant les fuites d'eau, a été inventé par le célèbre ingénieur anglais Bramah, au commencement du XIXe siècle.

La pompe ordinaire, à mouvements alternatifs, la plus simple de toutes, la plus employée, est probablement d'invention grecque.

Le piston plongeur, pour pompes à fortes pressions, fut inventé en 1674 par Morland ; en 1716, Philippe de La Hire imagina la pompe à double effet, à un seul cylindre et à quatre soupapes.

Les pompes à chapelet, les norias, les roues à palettes, les vis, connues déjà de l'antiquité, s'emploient surtout en Orient et en Hollande pour dessécher les marais.

Les pompes centrifuges, à mécanisme simple, à grand rendement, dont l'usage se généralise de plus en plus pour les grands travaux hydrauliques, pour les dessèchements, pour le percement des canaux, leur alimentation, pour les marais salants, pour l'irrigation des vignes phylloxérées, etc., furent inventées par l'Anglais Appold, en 1848, puis perfectionnées par Gwynne, Neut et Dumond, Coignard, etc.

Le bélier hydraulique fut imaginé en 1772, en Angletere, par Whitehurst et en France par de Montgolfier, en 1777.

La pompe à incendie à vapeur, inventée par Lee et Learned, à New-York, s'employa d'abord aux États-Unis et en Angleterre ; son usage est très récent en France, pays routinier par excellence.

CHAPITRE II

APPAREILS DE CHAUFFAGE ET D'ÉCLAIRAGE

I. — APPAREILS DE CHAUFFAGE.

Les appareils de chauffage ont une importance considérable pour l'industrie et l'économie domestique. Trop longtemps dédaignés par les savants, abandonnés aux recherches de simples ouvriers, ces appareils sont maintenant l'objet des études sérieuses des physiciens, des mécaniciens, des ingénieurs et des architectes.

Les combustibles solides furent d'abord les seuls employés pendant une longue série de siècles : le bois et son charbon d'abord, puis la houille, le lignite, la tourbe, l'anthracite. Le XIXe siècle, siècle de grand progrès, y substitua successivement les liquides (pétrole), les gaz (gaz d'éclairage et oxyde de carbone), et finalement l'électricité, se rapprochant ainsi de plus en plus de l'état parfait où doit se trouver la matière pour engendrer la chaleur, l'électricité étant la forme dernière, la force calorifique elle-même.

Combustibles solides. — Cheminées. — Les premiers hommes, de même que les sauvages actuels, allumaient le foyer au milieu de leur hutte, la fumée sortant par une ouverture pratiquée au milieu du toit. Dans les pays chauds, chez les Grecs, les Romains, les Hébreux, les Perses, comme de nos jours en Espagne, en Italie, dans l'Amérique du Sud, on se contentait

de se chauffer avec des brasiers et des chaufferettes, de construction fort élégante et ornementés souvent avec goût.

L'absence de tirage, dans ce chauffage primitif, avait l'inconvénient de laisser dans les appartements les gaz résultant de la combustion. L'invention des cheminées date de la plus haute antiquité ; au moyen âge, nous les trouvons vastes, très décorées, avec des chenets immenses et une crémaillère pour suspendre les ustensiles servant à la cuisson des aliments. A la Renaissance, les cheminées conservent leurs dimensions colossales, mais elles sont encore plus surchargées d'ornements.

Ces vastes cheminées excellent comme tirage : toute la fumée s'échappe dans l'atmosphère et l'air nécessaire pour la combustion descend jusqu'au foyer par la cheminée elle-même. Elles ont le grand défaut de chauffer très peu. Quelques perfectionnements y sont apportés : Alberti (de Florence), en 1485, recouvre le tuyau d'une calotte hémisphérique, qu'une girouette oriente, dispositif ayant pour effet d'empêcher le refoulement de la fumée par le vent ; en 1540, Serlio (de Bologne) réduit la dimension du tuyau, d'où diminution de l'accès de l'air froid extérieur et augmentation du rendement en calorique. Au XIXe siècle, on réduit encore le foyer et le tuyau, on invente le tablier à coulisse pour accroître le tirage et les cheminées deviennent mesquines sans chauffer beaucoup plus ; si bien que, selon l'expression de Péclet, il faut monter sur le toit pour se chauffer, toute la chaleur s'échappant par le tuyau.

Poêles. — Au XVIe siècle, les Anglais imaginèrent les premiers poêles. C'étaient des foyers à grille, en fonte ou en fer, brûlant de la houille, qu'on plaçait dans l'intérieur des cheminées. Il s'agissait, en somme, de brûler de la houille au lieu de bois. En 1713, on entoura ces poêles anglais de chambres à air ; l'air s'échauffait et était distribué dans l'appartement tout autour de la cheminée. A la même époque, on faisait usage en Allemagne, en Suède, en Russie, de grands poêles en terre ou en faïence, où de l'air s'échauffait également dans des canaux en brique.

Plus tard, on supprima la cheminée et le foyer fut placé

au milieu de l'appartement; un long tuyau, qui échauffe l'air autour de lui, conduit les fumées au dehors. Ce tuyau, très étroit, laisse monter les gaz chauds, mais ne permet plus à l'air froid extérieur de parvenir jusqu'au foyer ; l'air nécessaire à la combustion provient donc de l'appartement, d'où appel d'air froid par les jointures des portes et fenêtres. Il est préférable de faire arriver sous le foyer, au moyen d'un tube débouchant à l'extérieur de l'appartement, l'air nécessaire à la combustion. Quand le poêle est en fonte, il faut avoir bien soin de ne pas le laisser rougir, sinon l'oxyde de carbone traverse les parois et empoisonne l'air de la chambre. On a imaginé de multiples combinaisons, dans le but de diminuer la quantité de combustible au moyen d'une combustion plus lente, ou d'éliminer la fumée par le renversement de la flamme ; tantôt la combustion se fait de bas en haut, tantôt de haut en bas. On a augmenté les surfaces d'échauffement ; on a rendu les poêles mobiles, au détriment du tirage, ce qui les rend très dangereux.

Fourneaux de cuisine. — Ce sont des poêles appropriés à leur usage. La déperdition de calorique, malgré les perfectionnements si remarquables de ces derniers temps, est encore trop considérable et la dépense de combustible se trouve exagérée. Le foyer est généralement enveloppé d'eau, s'échauffant à son contact.

Calorifères. — L'idée des calorifères date de loin ; elle consiste à chauffer de l'air au moyen d'une source calorifique quelconque, puis à distribuer cet air dans les appartements. Les Romains, comme les peuples germaniques et scandinaves, chauffaient directement leurs appartements au moyen d'un four, situé au-dessous du plancher construit en pierres ou en briques. Strutt, en 1792, imagina le véritable calorifère moderne pour chauffer les salles de l'hôpital de Derby, en Angleterre. Cet appareil consiste en un poêle, placé au milieu d'une chambre dont l'air s'échauffe et monte par des conduites dans les appartements ; système impraticable pour les vastes édifices, car l'air chaud ne circule plus au delà de 30 mètres environ. Il excelle d'ailleurs pour les maisons ordinaires, étant économique et

d'une installation facile. Il possède le grave inconvénient de produire une odeur infecte, due aux poussières brûlées au contact du poêle ; on y remédie en faisant filtrer l'air extérieur, qui vient s'échauffer, à travers une couche de coton arrêtant les poussières.

Eau chaude. — Les Romains chauffaient déjà leurs thermes avec de l'eau chaude. Evelyn, en 1675, en Angleterre, et Bonnemain, en 1777, en France, imaginèrent de chauffer les édifices par une circulation d'eau chaude. Une chaudière, installée à la partie inférieure de l'édifice, communique par un double système de conduites avec des cuves situées dans les différents appartements, le tout étant complètement plein d'eau. L'eau chaude de la chaudière monte dans les cuves, se refroidit au contact de l'air des appartements qu'il échauffe, puis redescend se chauffer de nouveau dans la chaudière. Ce double mouvement est dû à la différence des densités de l'eau chaude et de l'eau froide. Ce procédé de chauffage se développa surtout à partir de 1830, pour les grands monuments publics, les hôpitaux et les serres.

Vapeur d'eau. — En 1745, le colonel Willcook imagina de distribuer de la vapeur d'eau dans des tubes en communication avec des récipients situés dans les appartements d'un édifice. La vapeur se condensait dans ces récipients et l'eau retombait dans la chaudière. Ce système est très sain, mais d'une installation difficile ; les fuites sont difficiles à éviter. Il existe cependant à New-York une distribution de vapeur d'eau à domicile. Ce mode de chauffage se généralise dans toutes les usines et établissements possédant une machine à vapeur ; la vapeur est amenée dans des tubes de fer, armés de plaques qui offrent une large surface pour la dispersion de la chaleur. On construit également des poêles, à surfaces de dispersion, chauffés au moyen de la vapeur d'eau venant s'y condenser.

L'industrie emploie le bois et la houille comme combustibles solides, la houille le plus généralement. On a construit récemment des fours où le combustible, réduit à l'état de poudre, arrive par portions successives et mécaniquement. Ce système

semble devoir être celui de l'avenir, comme le plus économique.

Combustibles liquides. — On utilise beaucoup l'essence et l'huile de pétrole pour le chauffage domestique, au moyen de lampes et d'appareils spéciaux. Deville et Dupuy de Lôme ont imaginé des grilles pour brûler les huiles lourdes qui distillent au-dessus de 280°. Ces huiles produisent, à poids égal, deux fois plus de chaleur que la houille. On utilise aussi les huiles de goudron et le goudron lui-même. La Russie et l'Angleterre commencent à chauffer leurs locomotives avec le pétrole. On s'en sert également dans les foyers des navires à vapeur. Le liquide, arrivant par un écoulement régulier et continu, a le grand avantage de chauffer très régulièrement les chaudières. De plus, ce combustible donne peu de cendre et de fumée.

Combustibles gazeux. — Le chauffage au gaz d'éclairage est le plus économique et le plus logique, surtout pour la cuisine. On a construit des fourneaux spéciaux dont l'usage se répand de plus en plus. Les poêles à gaz sont très propres et d'un maniement facile ; il suffit de tourner un robinet pour allumer ou éteindre le feu. Aux États-Unis, on utilise beaucoup le gaz naturel pour le chauffage domestique. Les fours Siemens, que nous avons eu l'occasion de décrire, utilisent un mélange d'air et d'oxyde de carbone.

Chauffage électrique. — Le courant électrique, en passant dans des conducteurs de grande résistance, développe une forte quantité de chaleur. Crompton, en Angleterre, a imaginé de noyer les fils de cuivre, échauffés par le courant, dans un émail spécial formant la paroi des ustensiles de cuisine (poêles à frire, casseroles, marmites à chauffer l'eau, bassinoires pour lit, etc.). Aux États-Unis, on chauffe les fers à repasser en les faisant traverser par le courant électrique ; dans ce même pays, les tramways sont chauffés avec le courant même de la ligne.

Elihu Thompson et Benardos ont employé la chaleur développée par le courant électrique pour souder les métaux. Nous savons déjà que Siemens a inauguré une nouvelle méthode féconde de métallurgie par le chauffage électrique des creusets. Signalons aussi le four électrique de MM. Viole et Moissan, qui

date de 1893, permettant d'obtenir des températures supérieures à 3000°. Ce four, creusé au milieu d'un bloc de chaux vive, est traversé par un puissant arc électrique.

On doit à M. Leblond une expérience très curieuse et peut-être susceptible d'application. On plonge une électrode positive en plomb dans un vase contenant de l'eau acidulée, puis on trempe dans cette même eau une barre de fer constituant l'électrode négative. Si le courant est assez intense, la barre de fer rougit et fond au milieu de l'eau, sans que l'eau s'échauffe sensiblement elle-même. L'hydrogène qui enveloppe le fer empêche celui-ci de s'oxyder. On peut atteindre par ce procédé des températures excessivement élevées. Si l'on emploie le charbon de cornues au lieu de fer, le charbon entre en fusion, preuve qu'on dépasse 4000 degrés.

Statistique. — Paris est le grand centre de fabrication des appareils de chauffage en France ; viennent ensuite les Ardennes, l'Aisne, la Marne, la Seine-Inférieure, et les grandes villes : Marseille, Bordeaux, Saint-Étienne, Lille, Lyon, Amiens, etc.

M. Godin a construit son fameux familistère à Guise, près de Saint-Quentin. M. Godin s'est rendu célèbre par ses œuvres philanthropiques. Fils d'un serrurier, il créa l'industrie des appareils de chauffage en fonte. Quelques années après, ayant fait fortune, il voulut appliquer ses idées socialistes et construisit un vaste édifice auquel il donna le nom de *familistère*. Outre sa propre habitation, il y a des logements pour 250 familles, soit environ un millier de personnes.

Grâce à cette association des ouvriers pour la production et la consommation, le bien-être et l'aisance succédèrent pour tous à la pauvreté. Les enfants furent instruits gratuitement, et, après un intelligent apprentissage, ils se transformèrent en habiles ouvriers. Les malades reçurent des soins et les vieillards furent pourvus d'une pension de retraite. Au familistère, les ouvriers jouissent de toute leur liberté. Ils y trouvent des magasins d'approvisionnement à des prix réduits, des restaurants, des cafés et même un théâtre.

II. — APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

L'éclairage joue dans la civilisation un rôle aussi considérable que le chauffage. Comme pour celui-ci, les substances employées furent successivement les solides, puis les liquides, puis les gaz, et finalement l'électricité, source de toute lumière.

Substances solides. — Les premiers hommes s'éclairèrent avec des substances résineuses, puis avec des chandelles. Paris, en 1667, était éclairé avec des lanternes à chandelle. L'apparition de ces lanternes émerveilla les habitants d'alors autant que la lumière électrique à notre époque. Les bougies en cire servaient uniquement aux gens riches ; quant aux bougies en acide stéarique, en paraffine, en spermaceti, elles datent du XIXe siècle.

Substances liquides. — *Huiles.* — Les huiles furent les premiers liquides employés. Ces huiles, non épurées, brûlaient mal, donnaient peu de lumière, beaucoup de fumée nauséabonde. Leur épuration commença seulement au XIXe siècle, à la suite des travaux de Thénard. Quant aux lampes, elles furent longtemps très imparfaites. Les Égyptiens, les Grecs, les Romains, tous les peuples anciens se contentaient de tremper une mèche dans un vase rempli d'huile ; le vase, en terre cuite ou en métal, très agréable et très artistique de formes, donnait un éclairage aussi défectueux que possible. La *veilleuse* représente un dernier vestige de ce premier état de barbarie, mais avec des perfectionnements considérables, dus à l'emploi de mèches en cire et d'huile épurée. Les églises conservèrent l'usage des lampes antiques jusqu'en 1783. Les mèches reçurent quelques améliorations ; d'abord simples et non tressées, on les tressa plus tard en leur donnant une forme plate.

La première lampe véritable fit son apparition seulement en 1780.

A cette époque, un physicien de Genève, distillateur à Montpellier, Aimé Argand, eut l'idée de placer l'huile dans un

vase supérieur et de la conduire dans une mèche circulaire, enfermée entre deux tubes. L'air arrivant cette fois à l'intérieur et à l'extérieur de la mèche, la combustion était plus complète et la lumière beaucoup plus vive. Cette lampe d'Argand servit aux frères Montgolfier pour gonfler leur premier aérostat. Argand passa en Angleterre, et le pharmacien Quinquet prit un brevet en France, spoliant ainsi le premier inventeur. De là un procès que Quinquet perdit; Argand, ruiné par la Révolution, mourut dans la misère. La Comédie française fut éclairée pour la première fois avec les nouvelles lampes, le 29 avril 1794.

Le tube de verre entourant la mèche fut inventé également par Argand. Lange et Meunier le perfectionnèrent en lui donnant une forme rétrécie au lieu de la forme cylindrique primitive. Le plateau mobile, placé au milieu de la flamme, fut inventé à Liverpool.

La lampe d'Argand employait un réservoir d'huile supérieur à la mèche, ce qui avait l'inconvénient de noyer la mèche dans un excès d'huile; de plus, le réservoir faisait ombre d'un côté de la lampe. Un grand nombre d'inventeurs s'ingénièrent à placer le réservoir au-dessous de la mèche, mais les résultats obtenus furent très imparfaits. En 1800, l'horloger Carcel résolut pratiquement le problème au moyen d'un mécanisme d'horlogerie. La lampe Carcel était excellente, mais d'un prix trop élevé. Philippe de Girard, dès 1803, et Franchot, en 1836, trouvèrent des mécanismes beaucoup plus simples et plus pratiques. La lampe de Franchot s'emploie encore aujourd'hui. L'huile, pressée par un piston, poussé lui-même par un ressort, remonte jusqu'à la mèche par un tube vertical. Une tige, contenue dans le tube, sert de modérateur à la montée de l'huile, la résistance au passage du liquide diminuant à mesure que la tige s'enfonce.

Les lampes ont reçu de grandes améliorations de détail. Girard a inventé les globes en verre dépoli ; on les a munies d'abats-jour en porcelaine, de godets en verre ou en porcelaine pour arrêter les fumées. Les lanternes et les réverbères portent des réflecteurs métalliques qui accroissent considérablement l'intensité lumineuse dans une direction déterminée.

Pétrole et autres liquides. — L'idée d'utiliser d'autres liquides que l'huile est déjà ancienne. On essaya d'abord de brûler un mélange d'alcool et d'essence de térébenthine, mais il fallut renoncer à cet éclairage, trop coûteux et trop dangereux. On tenta ensuite de remplacer l'huile par les produits de la distillation des schistes bitumineux, des asphaltes, des résines, de la houille, des os, mais ces liquides brûlaient mal et avec une flamme très fuligineuse. Enfin, la découverte des pétroles d'Amérique vint faire une terrible concurrence aux huiles, surtout quand on put obtenir des produits raffinés par la distillation.

Le pétrole ne peut pas se brûler dans les lampes à huile. Ici, grâce à la montée rapide du pétrole le long des mèches, le dispositif de Franchot devient inutile et même dangereux. Il convient d'employer les lampes à éponge pour la combustion de l'essence de pétrole. L'usage des lampes à pétrole s'est généralisé depuis 1861.

Gaz d'éclairage. — Nous avons déjà fait l'historique du gaz d'éclairage et nous connaissons sa fabrication. Nous devons donc nous borner à l'étude des appareils destinés à brûler le gaz.

On divise les lampes à gaz en quatre catégories : à bec simple et à becs intensifs, à air chaud, à incandescence, à gaz carburés.

1° Le bec à fente, dit *papillon*, est le plus simple. L'expérience a montré que la fente de sept dixièmes de millimètre de largeur donnait le plus grand pouvoir éclairant. Les ouvertures circulaires doivent avoir le même diamètre. Le bec à deux fentes parallèles, à flammes tangentielles, possède un plus grand pouvoir éclairant que l'ensemble de deux becs à fente unique. Le bec, dit d'*Argand*, avec trous en couronne et tube de verre, ayant l'avantage d'imiter les lampes à huile et à pétrole, est plus décoratif. Les *pots à feu*, à becs multiples, ont été inaugurés à Paris pour lutter contre les foyers électriques Jablochkoff ; ils sont à six becs, avec coupe en cristal formant enveloppe, et brûlent 1400 litres de gaz à l'heure.

2° Chaussenot, en 1836, inventa le bec à air chaud, successivement perfectionné en 1879, par Friederich Siemens et en 1882, par Wenham. La lampe Wenham est à flamme renversée ; à

éclairage égal, elle ne brûle que 40 à 50 litres de gaz à l'heure, tandis que le papillon simple en dépense 127 litres.

3° Bude, en 1851, augmenta considérablement le pouvoir éclairant du gaz d'éclairage en brûlant un mélange de gaz et d'oxygène, mais ce système était trop cher et dangereux. Drummond, en cette même année, obtint une lumière éblouissante en portant avec cette flamme un petit bloc de chaux à l'incandescence; Tessié du Mottay remplaça la chaux par de la magnésie. Clamond, Siemens, Elster, Bray sont arrivés à un résultat plus pratique et plus économique en plaçant une corbeille de magnésie et d'autres oxydes métalliques dans la flamme d'un mélange de gaz et d'air. Auër von Welsbach y a substitué une toile conique, imprégnée de zircone et autres oxydes.

4° Sous le nom d'*albo-carbone*, on désigne un gaz d'éclairage enrichi en passant sur de la naphtaline chauffée par le bec lui-même.

Les lanternes et les candélabres sont devenus plus gracieux, moins élevés ; on les a pourvus de vitres pour éviter les courants d'air. La lanterne, jadis carrée et d'aspect désagréable, a pris une forme ronde qui plaît davantage à l'œil. La maison Oudry a cuivré les candélabres en fonte, souvent établis à branches multiples.

La ventilation a également fait de grands progrès, soit par l'emploi des plafonds lumineux, principalement dans les théâtres, soit par le système Wenham, où l'air vicié des lampes est expulsé par un tube débouchant au dehors de l'appartement.

Éclairage électrique. — *Lumière à arc.* — Dès 1813, le physicien anglais Davy faisait jaillir, pour la première fois, l'arc électrique entre deux pointes de charbon de bois. En 1842, Deleuil et Archereau tentèrent, mais sans succès, d'appliquer l'arc électrique à l'éclairage public. Foucault obtint un arc plus éblouissant en substituant au charbon de bois celui des cornues, bien meilleur conducteur de l'électricité. Nuremberg, en Allemagne, possède les plus anciennes et les plus importantes fabriques de crayons pour éclairage électrique. Ces crayons, taillés primitivement dans le bloc de charbon extrait de la cornue, se prépa-

rent actuellement au moyen d'une pâte laminée, formée de charbon concassé.

Staite, en 1846, inventa le premier *régulateur* pour maintenir de façon constante l'écartement des pointes de charbon. Cet appareil a été successivement perfectionné par Foucault, Jablochkoff et un grand nombre d'autres inventeurs.

La source électrique resta longtemps la pile de Bunsen, peu pratique et insuffisante. En 1850, la machine magnéto-électrique Nollet, dite de l'*Alliance*, rendit enfin l'éclairage électrique réellement pratique, en fournissant l'électricité en abondance et à bon marché. Lacassagne et Thiers, en 1856, firent des essais à Lyon, qui démontrèrent la possibilité d'appliquer l'arc voltaïque à l'éclairage public. Il fallut cependant attendre le perfectionnement des machines dynamo-électriques par Gramme, Siemens, Edison et autres inventeurs, pour arriver à un résultat certain. Enfin, en 1876, Jablochkoff rendit le procédé complètement pratique par l'invention de son régulateur, dit *bougie Jablochkoff*, et de la division du courant pour actionner plusieurs lampes avec la même machine.

Lumière à incandescence. — La lumière à arc, d'une teinte violacée, fatigue la vue et ne peut s'appliquer qu'à l'éclairage de vastes espaces. La lumière à incandescence, au contraire, fournit une lumière jaune, analogue à celle d'un bec de gaz. Elle est produite par l'incandescence d'un filament de charbon, enfermé dans un globe privé d'air. La lampe Édison, inventée en 1880, aux États-Unis, a été légèrement modifiée par Swan, Maxim, etc.

La lumière électrique a pris un développement immense dans ces dernières années, surtout aux États-Unis, en Angleterre, en France. En 1890, Paris possédait déjà 6500 lampes à arc et plus de 100 000 lampes à incandescence, desservies par des usines électriques. Ces usines, productrices du courant électrique, envoient le courant dans des appareils spéciaux, dits *transformateurs*, inventés par Jablochkoff et Gaulard, d'où il est expédié jusqu'aux lampes. Un grand nombre de petites villes, tant en France qu'en Suisse, en Allemagne, etc.,

telles Dieulefit dans la Drôme, Valréas dans le Vaucluse, Châteaulin dans le Finistère, ont utilisé leurs chutes d'eau pour l'éclairage électrique.

Lumière Geissler. — Il existe un troisième mode d'éclairage électrique, non encore utilisé dans la pratique, mais ayant peut-être un grand avenir. On produit de la lumière en faisant passer un courant dans un tube de verre contenant un gaz n'ayant qu'une pression d'un dixième de millimètre ; la coloration varie avec la nature du gaz. Le professeur Elihu Thompson, au moyen de courants alternatifs à haute fréquence, a obtenu des résultats surprenants. A la suite de ces expériences, on peut admettre la possibilité d'éclairer une ville entière sans communication des appareils avec la source électrique, en faisant traverser la ville par des courants alternatifs à haute fréquence. Toutes les lampes s'illumineraient simultanément.

III. — PHARES.

A l'Angleterre revient l'honneur d'avoir doté pour la première fois son littoral de phares nombreux, alors que les côtes des autres nations restaient encore plongées dans l'obscurité, souvent dans l'intention de piller les vaisseaux naufragés. Les autres nations suivirent bientôt son exemple, à quelques rares exceptions près. C'est ainsi que l'Europe a été dans la nécessité d'imposer par la force au Maroc l'installation d'un phare au cap Spartel, à l'entrée du détroit de Gibraltar.

Le nombre des phares augmente rapidement. Il était, en France, de 63 en 1830 et de 291 en 1867. L'Angleterre et les États-Unis en possèdent le plus grand nombre ; la France tient la tête comme espacement moyen. Cet espacement est de 13 kilomètres en France et de 16 kilomètres en Angleterre. L'infériorité de l'Angleterre tient au grand développement de ses côtes.

Les phares ont été successivement éclairés au bois, à la houille, à la chandelle de suif, à l'huile de colza, au pétrole, finalement à la lumière électrique. Les deux phares du cap de la Hève, au Havre, furent les premiers éclairés à la lumière

électrique, en 1864, au moyen de la machine magnéto-électrique de l'Alliance. Tandis que l'huile ne donnait qu'une intensité lumineuse égale à 630 becs Carcel, l'arc électrique en fournit une de 5000 becs. Ces chiffres ont été dépassés depuis.

La lumière des phares fut d'abord blanche; puis, pour les distinguer plus facilement, on la colora au moyen de verres, en rouge d'abord, puis en rouge et en vert; le rouge a le plus de portée. La coloration des feux des phares date de 1864. On a encore imaginé des feux à éclipses, au moyen d'une rotation de l'appareil.

Le système optique a subi de nombreux perfectionnements, dans le but d'augmenter le champ lumineux, c'est-à-dire la portion de l'espace d'où le phare est visible. En 1783, Teulère, ingénieur français, inventa le réflecteur parabolique. En 1822, un autre Français illustre, Augustin Fresnel, imagina les lentilles à échelons. En 1850, Chance, en Angleterre, et Degrand, en France, ajoutèrent des prismes à réflexion totale pour ramasser la lumière perdue sur les côtés, de manière à la renvoyer dans la direction de l'axe optique de l'appareil; ces prismes jouent le rôle de réflecteurs plus parfaits que les miroirs.

Le nombre des usines affectées à la construction des phares est très limité. Il convient de citer surtout les maisons Lepaute, Sautter et Cie, Barbier et Fenestre, à Paris, Chance à Birmingham.

CHAPITRE III

INSTRUMENTS DE PRÉCISION

I. — INSTRUMENTS DE PHYSIQUE, DE MATHÉMATIQUES, DE CHIMIE ET DE MÉDECINE.

Les instruments de physique, de mathématiques et de chimie comprennent les machines à diviser, les balances et poids, les instruments de météorologie, les instruments d'astronomie, de géodésie et d'arpentage, la lunetterie, les instruments de navigation, les appareils de recherches pour laboratoires, les instruments de dessin, etc.

En France, la fabrication de ces instruments a lieu presque exclusivement à Paris. Voici les noms des principaux constructeurs : Adnet, Alvergniat, Bourdon, Cailletet, Carré, Charpentier successeur de Ruhmkorff, Chevalier, Collot, Deleuil, Derogy, Duboscq, Ducretet, Froment, Gaiffe, Golaz, Laurent, Lutz, Nachet, Naudet, Molteni, Noé, Richard, Secrétan, Tonnelot, etc. L'Angleterre et l'Allemagne fabriquent aussi des instruments de précision renommés. Signalons, comme une curiosité, la fabrication de la Thuringe, en Saxe, où l'on construit d'excellents thermomètres, baromètres, hygromètres, appareils d'optique, etc., dans des masures isolées au milieu des forêts.

Nous insisterons particulièrement sur la lunetterie et la fabrication des instruments d'optique, qui donnent lieu à un commerce étendu. Parmi les principales maisons de lunetterie, signalons plus spécialement la *Société des lunetiers*, dont le

siège social est à Paris et qui possède plusieurs établissements dans la Meuse (Ligny, Saint-Mihiel et Cousances), à Morez dans le Jura et à Songeons dans l'Oise. Cette Société, fondée en 1849, recrute ses actionnaires parmi ses ouvriers. Quand un ouvrier a fait preuve de qualités sérieuses, soit comme administrateur, soit comme fabricant, il est nommé par vote membre de la Société. Il apporte comme capital la retenue faite sur ses salaires, mais il partage les bénéfices de l'année au prorata de son appoint. Il a droit à une pension de retraite, et, à sa mort, le capital revient à ses héritiers. On ne saurait trop engager tous les bons ouvriers à imiter cet exemple. Qu'un petit noyau se forme d'abord, et, par son ordre et son travail, il deviendra vite légion et gros industriel.

Voici quelques renseignements historiques sur les principaux instruments d'optique : le microscope, la lunette d'approche et le télescope.

Le microscope simple, ou loupe, uniquement composé d'une lentille grossissante, est connu depuis la plus haute antiquité ; on a découvert dans les ruines de Ninive une lentille en cristal de roche.

Le microscope composé, formé de deux lentilles grossissantes, a été inventé en 1590 par Janssen, lunetier à Middelbourg. Il fut considérablement perfectionné en 1816 par Frauenhofer, fabricant d'instruments d'optique à Munich.

La lunette d'approche, ou lunette astronomique, semble avoir été imaginée par Roger Bacon, illustre philosophe, lequel aurait aussi inventé les bésicles ; cet homme de génie, accusé de sorcellerie, paya de quatorze années d'emprisonnement son amour pour la science.

On attribue aussi l'invention de cet instrument à Hans Lippersheim, fabricant de bésicles à Middelbourg, en 1608, et à Galilée, l'illustre savant italien. On cite encore un grand nombre d'autres inventeurs, d'où il faut conclure que la lunette astronomique, simple combinaison de deux lentilles, est une découverte qui eut lieu un peu partout, simultanément, au commencement du XVII[e] siècle.

Le premier télescope, combinaison d'un miroir concave avec une lentille, est dû à Grégory, en 1663; il fut perfectionné par Newton et par Herschell. Ce dernier, d'abord professeur de musique, devint plus tard un astronome illustre. Foucault, au XIXe siècle, remplaça les anciens miroirs en bronze par des miroirs paraboliques et en verre argenté. On construit actuellement de gigantesques télescopes et d'énormes lunettes astronomiques, dont miroirs et lentilles ont plus d'un mètre de diamètre.

Les instruments de chirurgie étaient déjà très perfectionnés chez les Grecs et les Romains ; on a découvert dans les ruines de Pompéi et d'Herculanum plusieurs instruments qu'on croyait récemment inventés. Couteaux, lancettes, bistouris, ciseaux, pinces, scies, compresseurs, cautérisateurs, etc., se fabriquèrent pendant longtemps mieux en Angleterre que partout ailleurs, grâce à l'excellence de l'acier anglais et de sa trempe ; mais, depuis 1820, la France fabrique aussi bien, et ce succès est dû à la maison Charrière, de Paris.

Les instruments de médecine, appareils balnéatoires, irrigateurs (inventés par Éguisier), les pulvérisateurs (inventés par le docteur Sales-Girons), les appareils orthopédiques, les membres artificiels, les instruments de gymnastique médicale, ont subi de très nombreux perfectionnements. L'introduction du caoutchouc dans la plupart de ces appareils, inaugurée par les Anglais, s'est également généralisée en France depuis 1851, grâce à la maison Henri Galante.

II. — HORLOGERIE.

Horloges. — Les anciens, pour mesurer le temps, se servaient des cadrans solaires, des sabliers et des clepsydres. Le sablier est un vase contenant du sable fin qui s'écoule par un orifice étroit ; l'heure s'indique par le niveau qu'atteint le sable. Dans la clepsydre, le sable est remplacé par de l'eau, dont le niveau reste constant au moyen d'un trop-plein ; l'eau écoulée tombe dans un vase muni d'un flotteur, lequel fait tourner une aiguille sur un cadran, comme dans nos horloges modernes.

Les premières horloges véritables reposent sur un autre

principe : la mise en mouvement d'une aiguille par la chute d'un poids, principe déjà indiqué par Aristote.

Les Allemands, au xe siècle, appliquèrent l'idée émise par le grand philosophe grec ; jusqu'au xve siècle, les horloges ne furent en usage que dans les maisons particulières ; mais, à partir de cette époque, on les vit apparaître dans les monuments publics. De dimensions colossales, elles étaient excessivement compliquées, avec des personnages, des carillons, des indications astronomiques sur le cours du soleil, de la lune, etc.

Sous Louis XIV, on cacha les poids, les cordes et le pendule dans une boîte élevée, souvent décorée avec luxe.

Les premières horloges recevaient leur mouvement de la chute d'un poids, régularisée par un échappement, dit *à foliot* ; une tige armée de deux palettes, placées à angle droit l'une sur l'autre, venait successivement s'engager entre les dents d'une roue pour arrêter son mouvement. Cet instrument, très grossier, possédait très peu de précision. Il n'en acquit qu'au moment où l'on introduisit le *pendule*, dont le mouvement d'oscillation est si régulier. L'application du pendule aux horloges fut faite en Italie, par Galilée et son fils, mais elle ne se généralisa qu'en 1657, grâce aux travaux du Hollandais Huyghens. Le pendule compensateur à grilles est dû à Harrisson. En 1839, Steinheil (de Munich), puis Bain (d'Édimbourg), construisirent les premières horloges électriques, mues à longue distance par une horloge régulatrice du courant. Bréguet, en 1857, appliqua l'électricité aux horloges, dans le but de régulariser l'heure des gares des chemins de fer et des bureaux télégraphiques. Edward James Mudbrigde (de San Francisco) inventa les horloges pneumatiques, dont l'usage se répandit à Paris vers 1878. Les horloges communiquent avec l'usine centrale par un tube où arrive de l'air comprimé et les aiguilles avancent toutes d'une minute au même instant par l'effet d'un coup de piston donné à l'usine.

Pendules. — Dans une pendule, le mouvement ne se communique plus par un poids, mais par un ressort qui se détend ; le mouvement est régularisé par un pendule, comme dans une horloge. Son invention date de l'an 1500, ou même un peu plus

tard; au XVIe siècle, on faisait déjà un grand usage des réveils. Dès le règne de Louis XVI on prit l'habitude de placer la pendule sur la cheminée, avec des flambeaux et des vases.

Montres. — Les montres furent inventées à Nuremberg par Pierre Hele. Le mouvement, produit par un ressort, comme dans la pendule, est régularisé par un second ressort très fin, dit *spiral*, accompagné d'un balancier circulaire. L'ensemble du spiral et du balancier porte le nom d'*échappement.* On doit l'invention du spiral à Huyghens, en 1675.

Les premières montres, très grosses, sonnaient les heures et jouaient des airs d'opéras. Elles portaient des peintures émaillées à leur intérieur et étaient à répétition.

L'échappement reçut de grands perfectionnements : il fut successivement à ancre, à ressort, libre, à force constante. Bréguet, simple ouvrier à ses débuts, apporta plusieurs modifications à la fin du XVIIIe siècle. Beaumarchais, célèbre littérateur et en même temps excellent horloger, inventa les montres à remontoir sans clef. Philipps, en 1861, perfectionna le *spiral.* On a obtenu actuellement une précision extraordinaire, surtout pour les chronomètres de navigation. Grâce à une fabrication essentiellement mécanique, les montres sont d'un bon marché véritablement extraordinaire. Cette fabrication mécanique, créée au XVIIIe siècle par Japy, prit surtout de l'extension au XIXe siècle. Peu d'industries présentent une division de travail autant poussée à l'extrême. Les usines qui fabriquent les montres entières sont rares ; chaque établissement possède au contraire sa spécialité : les uns font l'ébauche, c'est-à-dire les roues dentées, le barillet, les ponts, les platines, d'autres la boîte, d'autres le spiral, d'autres le ressort moteur, etc. Il existe aussi des ouvriers spéciaux pour la mise en place des différentes pièces.

Statistique. — La grande industrie horlogère n'existe que dans peu de pays : la France, la Suisse, l'Angleterre, l'Allemagne, l'Autriche, les États-Unis. Voici la statistique pour 1879 :

	Millions de francs.
France	65
Suisse	60

	Millions de francs.
États-Unis	32
Allemagne	25
Angleterre	16
Autriche	10

La Suisse, la France, l'Angleterre, les États-Unis, l'Allemagne fabriquent surtout les montres ; les pendules viennent de France, d'Allemagne, d'Autriche et des États-Unis.

Besançon, le centre principal de l'industrie horlogère en France, fabrique surtout des montres. Comme en Suisse, le travail s'y fait par des ouvriers isolés, vivant en famille et produisant dans de meilleures conditions que les ouvriers groupés dans de vastes usines. En 1889, Besançon a produit 380 000 montres en or et en argent. L'industrie horlogère bysontine date de la Révolution ; elle fut fondée par des ouvriers de Neuchâtel, chassés de la Suisse pour leurs opinions politiques.

L'industrie horlogère rayonne encore tout le long de la frontière de la Suisse : dans le Haut-Rhin, où se trouvent de vastes usines admirablement outillées pour la fabrication complète des montres ; à Beaucourt, où la maison Japy, occupant 1500 ouvriers, fabrique par jour 1200 montres, 2000 pendules et réveils ; à Montbéliard, remarquable par ses pièces d'horlogerie et ses boîtes à musique ; à Morez, qui livre surtout de la grosse horlogerie pour les campagnes et les cuisines ; à Cluses, où il y a 4000 ouvriers, et dans un grand nombre d'autres localités de la Haute-Savoie. Morez, comme Paris, fabrique de la grosse horlogerie monumentale. Cluses imita tout d'abord Genève, et fonda une école d'horlogerie en 1824 ; depuis, Besançon, Anet et Paris possèdent également des écoles spéciales d'horlogerie.

Saint-Nicolas-d'Aliermont, près de Dieppe, fut le berceau de l'horlogerie française. On y compte 1500 ouvriers occupés à la fabrication de la petite pendulerie, des chronomètres de précision pour la marine, des régulateurs astronomiques, des rouages pour télégraphie.

Paris, qui fait venir les pièces de l'Est et de Saint-Nicolas, fait des horloges monumentales, de l'horlogerie de précision,

des chronomètres de marine, des pendules et des réveils.

La Suisse, dont la production horlogère égale presque celle de la France, a ses principaux centres de fabrication à Genève, dont on apprécie surtout le goût, dans le canton de Neuchâtel (Le Locle, la Chaux-de-Fonds, les Brenets), au Val-Travers, à Morat dans le canton de Fribourg. L'industrie horlogère s'est surtout réfugiée dans les pays pauvres : elle constitue la seule ressource des habitants. Charles Cousin, chassé de France par suite de la révocation de l'édit de Nantes, fonda la première fabrique d'horlogerie à Genève. La Suisse, l'Angleterre et l'Allemagne doivent d'ailleurs leur industrie horlogère aux ouvriers français, chassés de leur pays à cette époque néfaste.

L'Angleterre, et principalement Londres, a possédé pendant longtemps le monopole des meilleurs chronomètres de marine, et ce, à cause de la multitude des navires. La France fait aussi bien maintenant. Les grands centres de fabrication sont Londres, Coventry (comté de Warwick), Birmingham, Liverpool, Prescott (comté de Lancastre) et Christchurch (comté de Southampton).

Vienne, en Autriche, fabrique beaucoup de pendules, ainsi que Prague et Karlstein. En Allemagne, citons les centres horlogers de Leipzig, de Fribourg en Silésie, de Glassuth. On fait beaucoup de *coucous* dans la Forêt-Noire.

L'industrie horlogère a reçu depuis quelques années un développement considérable aux États-Unis. En 1860, il y a été fabriqué seulement 13 000 montres ; dès 1876, les usines en livraient 250 000, toutes faites à la machine. La seule usine de Waltham, à Roxbury, possède 25 ateliers, éclairés par 200 lampes électriques et 3500 becs de gaz.

III. — TÉLÉGRAPHIE.

Télégraphie Chappe. — Les télégraphes se réduisirent pendant toute l'antiquité, et même jusqu'au XIXe siècle, à des appareils à signaux, plus ou moins perfectionnés. Les Grecs et les Romains faisaient usage de fanaux diversement colorés, comme

cela se pratique encore actuellement dans les armées en marche. En 1690, le physicien français Amontons proposa l'observation des signaux à longues distances au moyen de lunettes d'approche; son idée ne fut appliquée qu'en 1793 par Claude Chappe. Le système de Chappe consistait à faire des signaux sur des tours élevées à l'aide de leviers, mus par un mécanisme. Les signaux, observés par le poste voisin à l'aide d'une longue-vue, étaient reproduits de proche en proche. On obtenait déjà une rapidité considérable de transmission : par exemple, une dépêche ne mettait que quatorze minutes pour parvenir de Toulon à Paris, villes distantes de 840 kilomètres. On communiquait de Paris à Lille en deux minutes.

Le système de Chappe comportait de graves inconvénients : les signaux devenaient invisibles la nuit et par les temps de brouillard ; ils ne pouvaient franchir les océans.

Télégraphie électrique aérienne et souterraine. — L'électricité se désignait tout naturellement pour résoudre complètement le problème de la télégraphie : transmission instantanée, par tous les temps, de jour et de nuit, à travers tous les obstacles. Jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, on ne connaissait encore que les machines à frottement et les mouvements d'attraction et de répulsion de l'électricité sur les corps légers. Dès 1753, le physicien écossais Marshal proposa un télégraphe, composé d'autant de fils qu'il y a de lettres dans l'alphabet, avec des balles de sureau aux extrémités. On faisait communiquer successivement les fils avec une machine électrique et les balles de sureau, repoussées par l'électricité, indiquaient les lettres du mot. Ce système était irréalisable en pratique, d'autant plus qu'on ne savait pas alors isoler les fils et empêcher la déperdition électrique. Il fallut attendre de nouvelles découvertes, celle de la pile par Volta, celle du galvanomètre par Œrsted et Ampère et surtout celle de l'électroaimant par Arago.

En 1837, la télégraphie électrique se trouva réalisée pratiquement par Wheatstone à Londres, Steinheil à Munich et Morse à New-York. Cook et Wheatstone établirent le premier service régulier en Angleterre, entre Easton et Camden, au moyen

d'un galvanomètre. Steinheil imagina la suppression du fil de retour. Quant à Morse, on lui doit l'appareil à électroaimant encore en usage à l'heure actuelle. Morse, aidé par le jeune étudiant Vail, installa une ligne télégraphique entre Washington et Baltimore, laquelle fonctionna le 1er mai 1844. On peut donc considérer cette date comme celle du début de la télégraphie électrique.

Les progrès furent très rapides. Bréguet inventa le télégraphe à *cadran*, d'une manipulation facile et n'exigeant pas un alphabet particulier comme celui de Morse. Le télégraphe du système Bréguet est très employé dans les chemins de fer, les écluses, les petits bureaux. En 1853, Gintl, en Autriche, imagina la transmission *duplex*, c'est-à-dire la transmission simultanée, et sur un même fil, de deux dépêches marchant en sens inverse ; son appareil ne fut rendu pratique que vingt ans plus tard par Stearns, aux États-Unis. En 1855, Hughes construisit un appareil imprimant la dépêche avec des caractères d'imprimerie. Meyer en 1872, Baudot en 1874 et Elisha Grey en 1878, imaginèrent les appareils à transmissions multiples.

Blackwell, Caselli, Lenoir, Meyer, construisirent des appareils où le courant sert à opérer des réactions chimiques permettant de reproduire l'écriture et les dessins à distance, mais ces appareils n'ont pas encore reçu la consécration de la pratique, le besoin ne s'en faisant guère sentir ; ils demeurent des curiosités scientifiques.

Tous les appareils modernes reposent en définitive sur deux principes : l'attraction du fer doux par l'électroaimant et l'identité des mouvements aux deux stations au moyen de deux pendules identiques et marchant exactement ensemble. Ceci ne s'applique qu'à la télégraphie terrestre et non à la télégraphie marine, dont nous parlerons plus loin.

Les piles les plus employées en France sont celle de Callaud, très constante et très énergique (à sulfate de cuivre sans diaphragme) ; de Leclanché, peu constante, mais d'une grande durée ; de Chapron et de Lalande (à la potasse caustique et à

l'oxyde de cuivre). On se sert de machines dynamos pour les grands bureaux.

Les fils, d'abord en fer galvanisé, se font aujourd'hui en acier (ce qui permet d'écarter davantage les poteaux), en cuivre et en bronze phosphoreux, métaux bien meilleurs conducteurs que le fer et l'acier. Les fils de fer et d'acier se fabriquent à Eurville, Firminy, Châtillon, Commentry, Fourchambault, en Franche-Comté; les fils de cuivre et de bronze à Angoulême, Saint-Denis et Boisthorel dans l'Orne. M. Martin, de Paris, a imaginé les fils bimétalliques, à âme d'acier et à enveloppe de cuivre, possédant une grande résistance à la rupture et une grande conductibilité électrique.

Les isolateurs sont en porcelaine ; les poteaux de bois ou en fer ; les câbles pour lignes souterraines en fils de cuivre, isolés au moyen de la gutta-percha ou du bitume, enfermés dans des tubes de plomb ou de fer.

Télégraphie électrique sous-marine. — Dès 1840, c'est-à-dire dès l'aurore même de la télégraphie électrique, l'Anglais Wheatstone proposait la construction d'une ligne sous-marine entre Douvres et Calais ; deux ans plus tard, Morse avait également l'audace de vouloir relier par un câble l'Amérique à l'Europe, mais l'heure de ces grandes tentatives n'avait pas encore sonné. La première ligne sous-fluviale, d'une longueur de vingt kilomètres, ne fut jetée sous l'Hudson qu'en 1845 ; cinq ans après, Siemens et Halske ayant contruit des câbles avec la gutta-percha, on osa lancer le premier câble sous-marin reliant Douvres et Calais. Ce câble, ayant été brisé par l'ancre d'un bateau-pêcheur de Calais, ne fonctionna que quelques heures. Il fallut en reposer un second l'année suivante ; le service public commença le 13 novembre 1851. Le nombre des câbles sous-marins augmenta rapidement : on relia Barcelone aux îles Baléares, Toulon à la Corse, Port-Vendres à Alger ; des câbles traversèrent la mer Rouge et le golfe Persique.

Cyrus Field, le créateur de l'industrie des câbles sous-marins aux États-Unis, parvint, grâce à un courage indomptable, à fonder une Société pour la construction du premier câble transatlantique

qui fut posé pendant l'été de 1858. La tentative échoua par malveillance. Des clous furent plantés dans l'enveloppe protectrice et finalement le câble se brisa. On releva le bout immergé, on le souda à un nouveau câble et le premier télégramme passa d'Angleterre aux États-Unis le 20 août 1858. Mais bientôt, détérioré par l'eau de mer, les communications furent définitivement rompues. En 1866, une nouvelle Compagnie put enfin jeter le câble qui fonctionne encore actuellement.

Les câbles sous-marins se composent de fils de cuivre, noyés dans une masse de gutta-percha, et protégés de la corrosion de l'eau de mer par du chanvre et une armature de fils de fer galvanisé. Quant aux appareils, ils diffèrent des appareils employés dans la télégraphie terrestre, car on ne peut se servir des électro-aimants. Il faut avoir recours au galvanomètre, lequel exige un courant très faible. On se sert d'un appareil imaginé par Thompson, le *siphon recorder*.

L'Angleterre avait jadis le monopole de la fabrication des câbles sous-marins. On en fabrique actuellement en France, à Paris-Grenelle, à Bezons près Paris, et à la Seyne près Toulon, pour l'État.

Téléphone. — La transmission électrique de la parole est l'un de ces problèmes que les poètes seuls eussent osé rêver, il y a quelques années seulement. Réalisé aujourd'hui, il n'en reste pas moins un sujet d'étonnement pour les savants, qui ne se l'expliquent pas encore à l'heure actuelle. Le téléphone est peut-être la découverte la plus extraordinaire qui ait été réalisée, à cause du mystère qui l'enveloppe et l'homme reste stupéfié de son propre génie.

Un simple instituteur allemand, Reiss, inventa en 1860 le premier téléphone musical, incapable encore de transmettre la parole. En 1876, Graham Bell, de Boston, et Elisha Gray, de Chicago, parvinrent à transmettre fidèlement la parole. Ce premier instrument ne permettait de converser qu'à peu de distance ; mais, en 1878, Edison, ayant combiné le téléphone de Bell avec le microphone ou transmetteur à charbon de Hughes, put communiquer à de longues distances. Le téléphone d'Edi-

son a été successivement perfectionné par Siemens, Gower, Ader, Crossley, Van Rysselberghe, etc. Le premier téléphone sous-marin, étudié par M. Preece, le célèbre électricien anglais, directeur des télégraphes, fut posé entre Londres et Paris en 1890.

Les réseaux téléphoniques ont pris actuellement une extension considérable, principalement aux États-Unis, en Allemagne et en Suisse. En 1888, l'Allemagne possédait déjà 155 réseaux urbains.

La téléphonie nous réserve encore bien des surprises. M. Preece a prouvé la possibilité de transmettre la parole à travers l'air, à de longues distances sans l'intermédiaire d'aucun fil. Le *radiophone* au sélénium permet de parler à distance au moyen d'un rayon de soleil.

Statistique. — La télégraphie, sans compter la téléphonie, emploie quatre millions de kilos de fils et immobilise un capital de trois milliards de francs. Voici les longueurs des fils servant dans quelques États de l'Europe aux transmissions télégraghiques et téléphoniques :

	Kilomètres.
Allemagne	220.000
Angleterre	183.000
France	163.000
Italie	82.000
Belgique	23.000
Suisse	16.000

En 1889, il a été transmis en France 29 millions de télégrammes intérieurs et 2757000 télégrammes internationaux.

Les câbles sous-marins sont au nombre de 1168, dont 54 pour la France seule. C'est l'Angleterre qui en possède le plus.

Télégraphie militaire. — La télégraphie militaire a été créée aux États-Unis pendant la guerre de Sécession. Les Allemands en ont fait un grand usage en 1870-1871, pendant la campagne de France ; ils avaient établi en France quatre-vingt-onze stations reliées directement à l'Allemagne.

La télégraphie militaire comprend la télégraphie de campagne, de forteresse, d'infanterie et la télégraphie légère. On utilise diverses sortes d'appareils : les fanions colorés et les

lanternes à persiennes pour les communications très rapprochées d'un même corps d'armée ; les appareils optiques Mangin, constitués par de petits phares portatifs, pour les distances moyennes ; et enfin des appareils électriques pour les longues distances. Ces appareils électriques sont reliés par des câbles isolés. On se sert du télégraphe magnéto-électrique à cadran de Wheatstone, de l'appareil Morse à douze éléments Leclanché, de parleurs et de ronfleurs. Les parleurs et les ronfleurs, surtout usités en Angleterre et aux États-Unis, sont des électroaimants qui frappent des signaux.

Le téléphone Roulez pour télégraphie militaire est excellent.

Service électro-sémaphorique. — Ce service fut d'abord organisé en France par les soins de l'illustre astronome Leverrier ; mais les Anglais prirent les devants et les sémaphores fonctionnaient en Angleterre avant que Leverrier eût eu le temps de tout achever en France. Il existe aujourd'hui des observatoires météorologiques, disséminés sur la surface entière du globe et tous réunis télégraphiquement. On connaît donc chaque jour l'état du ciel dans le monde entier, d'où la possibilité d'annoncer l'arrivée des tempêtes à l'avance.

Télégraphie pneumatique. — Les différents bureaux de poste de Paris et d'autres grandes villes sont reliés entre eux par des tubes, à travers lesquels circule un piston qui emporte les lettres-télégrammes. Ce piston reçoit son mouvement par de l'air comprimé au moyen d'une colonne d'eau. Il suffit d'une pression d'un cinquième d'atmosphère pour obtenir une vitesse d'un kilomètre par minute (système de MM. Mignon et Rouart).

IV. — INSTRUMENTS DE MUSIQUE.

Les instruments de musique ont une grande influence sur l'art musical et on doit les considérer comme de véritables instruments de physique. On leur demande surtout une grande pureté dans le son et le timbre. Les instruments des siècles précédents possédaient un charme plus pénétrant et plus intime que ceux de nos orchestres modernes, où l'on recherche avant

tout la sonorité et la puissance des sons. La musique moderne, faite de conventions et de combinaisons mathématiques, reste inférieure à la musique ancienne, faite de sentiments et d'inspiration. Les masses ne comprennent plus la musique moderne, et c'est pourquoi l'on chante de moins en moins. L'Italie, l'Espagne, les peuples orientaux ont heureusement conservé le véritable art.

La recherche des orchestres à grand fracas a fait oublier des instruments qui étaient la joie de nos aïeux : tels le *luth*, la *guitare*, la *viole d'amour*, le *clavecin*, l'*épinette*, etc.

Les instruments que nous allons étudier appartiennent à la musique classique. Il existe d'autres instruments populaires, fort curieux également, mais dont l'usage se restreint à certaines contrées, par exemple la *vielle* en Auvergne, la *cornemuse* dans le Bourbonnais, le *biniou* et la *bombarde* en Bretagne, le *galoubet* en Provence, etc.

La musique de certains peuples ne manque pas d'originalité et mérite d'être étudiée par les compositeurs. Elle diffère parfois de la musique européenne et charme par sa simplicité naïve, plus conforme aux sentiments de l'âme que la musique savante. Ces peuples ont imaginé des instruments remarquables ; citons particulièrement le *cymbalum* des Tziganes, le *tanbura* des Croates, certains instruments particuliers aux Arabes et aux Javanais.

Instruments à cordes à longueurs variables. — Ce sont les plus parfaits de tous les instruments ; ils comprennent le *violon*, l'*alto*, le *violoncelle* et la *contrebasse*. Seuls parmi les instruments de musique, ils permettent à l'artiste de donner la note *juste* et non la note *tempérée*, d'où résulte leur charme et leur grande supériorité. Leur fabrication présente aussi le plus de difficultés. La table d'harmonie est en sapin, le dos en érable ; le volume de la caisse, la forme des ouvertures, la hauteur des éclisses, l'âme, tout, en un mot, possède une grande influence sur la sonorité et la pureté du timbre. Les luthiers italiens de Brescia et de Crémone, du XVIe au XVIIIe siècles, possédèrent la plus grande renommée ; les violons d'Amati, de Stradivarius, de

Guarneri, atteignent des prix fabuleux, allant jusqu'à 30 000 francs la pièce. On les copie dans leurs moindres détails, sans jamais pourtant les égaler ; la cause de leur supériorité reste encore mystérieuse. A signaler aussi les violons de Vuillaume et de Savart, construits à Mirecourt, en France, au milieu du XIXe siècle. L'industrie fabrique aujourd'hui à bas prix des violons de pacotille, entièrement construits à la machine. On fait même des violons mécaniques, mus par une roue qui se substitue à l'archet.

Jadis mal construits en France, les violons de notre pays ont presque atteint la perfection, grâce aux efforts de Vuillaume, simple ouvrier de Mirecourt, aidé des conseils du physicien Savart; nous venons d'ailleurs de citer plus haut ces habiles luthiers. Mirecourt fabrique encore, avec Paris, les violons les plus renommés. L'Allemagne excelle aussi dans cette fabrication ; il faut signaler plus particulièrement les produits de Mittenwald en Bavière, de Neukirchen et de Klingenthal en Saxe. A citer aussi les violons de Glasslitz et de Schœnbach, en Bohême.

Instruments à cordes à longueurs fixes. — Les types primitifs de ces instruments sont la *lyre* et la *harpe*, connus depuis la plus haute antiquité. On a découvert une harpe dans les ruines de Ninive.

La harpe, perfectionnée à la fin du XVIIIe siècle par Sébastien Érard, eut une immense vogue, puis tomba dans l'oubli. On commence cependant à s'en servir davantage.

Le *piano* n'est autre chose qu'une harpe mécanique, tantôt verticale, tantôt horizontale. En 1547, l'Italien Dominicus Pisaurensis construisit le *clavicorde*, dont les touches se posaient directement au-dessus des cordes frappées transversalement ; plus tard, on y substitua l'*épinette* et le *clavecin*, où les cordes étaient pincées par le bec d'une plume de corbeau. Le clavecin donnait des sons très purs. Le véritable piano à marteaux fut inventé par un autre Italien, Cristofori ; il fut construit d'abord à Londres, par Zump, et à Augsbourg, par Stein. Cet instrument, si répandu aujourd'hui, n'eut aucun succès à ses débuts. Il existe deux sortes de pianos : le piano à queue, destiné aux

artistes et aux concerts ; le piano droit pour amateurs et études. Herz, de Paris, et Glavatch, de Saint-Pétersbourg, ont imaginé une combinaison qui produit un son mystérieux et charmant : les marteaux frappent une succession de coups très rapprochés et très légers. Parmi les pianos mécaniques, citons particulièrement celui de M. Thibouville, où l'on fait usage de cartons troués.

Les pays qui fabriquent le plus de pianos sont la France, l'Angleterre, l'Allemagne et les États-Unis. Tout le monde connaît les noms des grands facteurs parisiens, les Pleyel, les Wolff, les Érard, les Herz, etc. Les frères Érard, d'abord simples ouvriers à Strasbourg, ont beaucoup perfectionné les pianos dès la fin du XVIII[e] siècle. L'Angleterre fabrique des pianos superbes, les États-Unis des pianos d'une sonorité remarquable, excellents pour orchestres.

Avant de quitter les instruments à cordes, signalons les *guitares*, les *mandolines*, les *cithares*, les *cithers* bavaroises, dont l'usage est surtout répandu dans le peuple.

Instruments à vent, avec tuyaux. — On les divise en deux classes : les tuyaux à embouchure de flûte (*flûte*, *flageolet*) et les tuyaux à anche, libre ou battante (*clarinette*, *hautbois*, *basson*).

La flûte, d'origine égyptienne, date de quatre mille ans au moins, car on la trouve gravée en relief sur les tombeaux de la Haute-Égypte. Elle fut construite successivement en roseau, en os, en ivoire, en bois et finalement en argent. Jadis de forme conique, elle devint cylindrique en 1832 avec Bœhm (musicien originaire de la Bavière), qui la fit construire par Lot, à Paris. Les flûtes de fabrication française sont les plus recherchées.

La clarinette, dont le type primitif est le *chalumeau* du moyen âge, fut inventée en 1690 par Denner, de Nuremberg. Le hautbois, le basson, le cor anglais reçurent de grands perfectionnements au milieu du XIX[e] siècle. Le hautbois est originaire de l'Inde ; le basson fut, dit-on, inventé au XVI[e] siècle par Afranio, chanoine de Ferrare.

Tous ces instruments, très simples à l'origine, sont devenus actuellement très compliqués et chargés de clefs. Ne donnant à l'origine que les sept notes primitives de la gamme, avec demi-tons indécis, ils possèdent maintenant les douze demi-tons de la gamme tempérée. La clarinette, par exemple, qui ne portait que deux clefs en 1690, en porta cinq au XVIIIe siècle, puis successivement six, treize et finalement dix-huit.

La France tient la tête pour les instruments à vent ; les grands centres de fabrication sont Paris, La Couture, Ivry-la-Bataille et Mantes. A signaler aussi Bruxelles et la Saxe (Markneukirchen, Kligenthal, Georgenthal, Lachsenfeld, Gèra, Leipzig).

L'*orgue*, l'*harmonium*, l'*accordéon*, l'*orgue de Barbarie*, sont des instruments à vent mécaniques. L'orgue, le plus beau de tous les instruments, fut inventé au XIIe siècle. Il se compose de tuyaux à bouche, ouverts ou fermés (bourdons), et de tuyaux à anche. L'anche libre donne de la douceur et l'anche battante de l'éclat (trompette, clairon, hautbois, basson, voix humaine). Les Anglais (Green, Davies, Hill, Elliot) perfectionnèrent surtout l'orgue au commencement du XIXe siècle. M. Mustel a ajouté des diapasons produisant des sons cristallins fort agréables. Les orgues électriques, dont les soupapes s'ouvrent avec des électroaimants, ont le grand avantage de permettre à l'organiste de se placer dans le chœur.

L'harmonium et l'accordéon, deux instruments analogues, connus en Chine depuis une très haute antiquité, ne furent introduits en Europe que très récemment. L'harmonium est employé dans les églises depuis 1840 et l'accordéon a fait son apparition en Allemagne vers 1810.

Instruments à vent, en cuivre. — Ici, le mouvement vibratoire est produit par les lèvres du musicien et l'instrument ne sert qu'à amplifier les sons et à leur donner la hauteur voulue, au moyen des clefs. Jadis très simples, composés d'un tube unique, ils ont été considérablement compliqués par les Allemands, qui les munirent de tubes auxiliaires, et par les Anglais, les Hollandais qui inventèrent les clefs. Sax, originaire de

Dinant (Belgique), mais établi à Paris, les perfectionna beaucoup au milieu du XIX[e] siècle.

Les principaux instruments en cuivre sont : les cors et les cornets à piston, le trombone à coulisse et à piston, le clairon, le bugle ou saxhorn, le saxophone, l'ophicléide. Plusieurs de ces instruments portent le nom de leur inventeur, Sax, déjà nommé.

Instruments à peaux. — Ce sont les tambours, grosses caisses, timbales, etc.

Instruments à plaques et à tiges. — Ce sont les cymbales, les gongs, les cloches, les sonnettes, les triangles, les castagnettes, etc. Les cymbales du Japon possèdent une sonorité remarquable, obtenue en Europe dans ces dernières années seulement. L'alliage, très cassant, ne peut se marteler qu'à une température déterminée. Les cymbales turques sont aussi très renommées.

Les boîtes à musique furent inventées au milieu du XVIII[e] siècle. En 1800, un ouvrier, nommé Favre, imagina le mécanisme actuel, où un cylindre armé de pointes fait vibrer des lames taillées dans une plaque d'acier. Genève fabrique 15 000 boîtes à musique par an. Ces boîtes, placées à l'origine dans les tabatières, se mettent maintenant un peu partout, jusque dans des carafes.

Enregistrement des sons. — Le *mélographe* Carpentier, qui s'adapte à tous les pianos, permet de tracer le graphique d'un morceau joué par un compositeur et de rejouer le morceau à volonté. Il est muni d'un mécanisme électrique. Les mélographes ont été imaginés depuis longtemps, dès 1747.

Le *phonographe* Edison, inventé en 1877 et perfectionné en 1887, est un véritable mélographe, qui peut rendre de très grands services. L'origine du phonographe est le *phonotographe* de Scott, où la plaque vibrante, munie d'un style, traçait des sinuosités sur un cylindre enduit de noir de fumée. Edison recouvrit le cylindre d'une lame de plomb, puis d'une couche de cire ; faisant alors repasser le style sur les sinuosités, la plaque vibrante reproduisit la parole. Le *graphophone* de Tainter utilise un cylindre de carton, recouvert d'une matière résineuse, avec un mécanisme analogue à celui d'Edison.

CHAPITRE IV

MACHINES MOTRICES.

I. — MOTEURS HYDRAULIQUES.

Dès l'origine de la civilisation les hommes ont utilisé la force motrice des cours d'eau.

La force du courant sert à transporter les bateaux et les radeaux. Sur les fleuves rapides, on installe aussi des bateaux fixes, munis de roues que le courant fait tourner. Colladon, de Genève, a imaginé ce système de roues flottantes.

Les chutes d'eau produisent un travail beaucoup plus considérable. Les moteurs employés sont de deux sortes : les *roues hydrauliques* et les *turbines*.

Roues hydrauliques. — Les roues hydrauliques tournent autour d'un axe horizontal, poussées par la chute de l'eau. Les auges courbes, inventées en 1823 par Poncelet, donnent le plus grand rendement. La roue est dite *en dessus* quand l'eau agit seulement par son poids ; on dit qu'elle est *en dessous* quand l'eau agit par choc. Le système des roues en dessous, donnant le rendement le plus faible, est presque complètement abandonné.

Les Romains connaissaient les roues hydrauliques. Celles de l'Europe datent du IVe siècle. On peut citer quelques belles roues hydrauliques. La machine de Marly, sur la Seine, près Paris, destinée à donner de l'eau à Versailles, fut construite par Dufrayer. Elle se compose de 6 roues, d'un diamètre de 12 mètres, et débitent par jour 1500 mètres cubes d'eau qu'elles élèvent à 156 mètres de hauteur.

Turbines. — Les turbines représentent des roues hydrauliques à axe vertical; d'origine très ancienne, elles furent longtemps très imparfaites. Leur emploi se généralise chaque jour davantage, aux dépens des roues hydrauliques à axe horizontal qu'elles remplacent. On distingue les turbines *centrifuges*, inventées en 1832 par Fourneyron ; les turbines *centripètes* de Thomson ; les turbines *parallèles* d'Euler, perfectionnées par Fontaine, Jonval, Girard ; les turbines *mixtes*, de Leffel, surtout employées aux États-Unis.

Girard a également construit une turbine à axe horizontal, destinée aux chutes d'eau d'un faible débit, mais d'une grande hauteur. Elles sont excellentes pour les pays montagneux.

Les moteurs hydrauliques s'emploient de moins en moins, à cause de l'irrégularité des cours d'eau, l'usine devant chômer pendant une partie de l'été. Autre cause d'abandon, les centres industriels s'éloignent des régions montagneuses et se rapprochent des grandes villes.

Signalons encore d'autres applications de la force de l'eau. Armstrong a le premier imaginé, en 1846, de refouler de l'eau, au moyen de pompes, dans un cylindre muni d'un piston très lourd. L'eau, ainsi accumulée, sert ensuite à la manœuvre de certaines machines industrielles. Ce système, utilisé d'abord dans les mines et les usines métallurgiques, actionne aujourd'hui les machines de déchargement dans les ports, les canons monstres de la marine, les tourelles des forts, les ascenseurs, et sert même dans la petite industrie. Ces appareils ont l'avantage d'une grande simplicité et de se manœuvrer avec facilité et précision.

On a également inventé de petites turbines pour utiliser la pression de l'eau des villes. Ces turbines mettent en marche des tours, des machines à coudre, etc., et rendent de grands services dans les petits ateliers.

II. — MOTEURS A AIR.

Moulins à vent. — Les hommes ont songé, dès la plus haute antiquité, à utiliser la force du vent, la plus économique, la

plus à la portée de tout le monde, mais aussi la plus capricieuse. L'irrégularité du vent a fait abandonner presque complètement les moulins aériens, sauf dans quelques régions, la Hollande par exemple, où les vents ont plus de constance. On les fait servir dans les travaux irréguliers, pour élever l'eau destinée aux irrigations, pour dessécher les marais.

Les peuples orientaux ont connu les moulins à vent dès la plus haute antiquité. Les moulins firent leur première apparition en Europe avec les Hongrois, au commencement du VIIIe siècle, mais ils ne se répandirent que beaucoup plus tard, au XIIe siècle. Les premiers moulins en bois, originaires de l'Allemagne, étaient à pivot et tournaient d'une seule pièce pour prendre la direction du vent; les Hollandais les construisirent en pierre, avec toit mobile entraînant les ailes.

Les ailes, d'abord en toile, furent remplacées par Meikle, en 1772, par des lames de bois à charnières, s'ouvrant et se fermant automatiquement suivant la force du vent, d'où l'immense avantage de pouvoir régulariser la vitesse de rotation. Il y eut d'abord quatre ailes ; puis on les multiplia, si bien que les moulins aériens modernes ont fini par se transformer en de véritables turbines, avec des dimensions de plus en plus restreintes. Cette dernière transformation a été opérée par les Anglais à la fin du XVIIIe siècle. La turbine atmosphérique Dumont produit une force de 20 à 30 chevaux-vapeur par les vents violents ; elle est utilisée pour mettre en mouvement les machines agricoles, pour moudre les grains et soulever de l'eau.

Air comprimé. — Dès 1687, Denis Papin avait essayé de construire une machine, mise en mouvement au moyen de l'air comprimé. Les résultats furent mauvais, car on ne savait pas encore empêcher les fuites de gaz. En 1857, à propos du percement du tunnel du Mont-Cenis, un savant suisse, Colladon, reprit la même question et la rendit pratique ; les appareils furent construits sous la direction de Sommeiller. On se sert aujourd'hui de l'air comprimé pour la traction des tramways, pour donner le mouvement aux torpilles, pour transporter la force à domicile. Pour ce dernier usage, on comprime de l'air

dans une usine centrale, puis on le transporte à domicile au moyen de tubes de distribution, comme du gaz d'éclairage ou de l'eau. Cet air comprimé est employé pour actionner de petites machines.

III. — MACHINES A VAPEUR.

La machine à vapeur se compose de deux parties distinctes : la chaudière ou générateur à vapeur et le moteur.

L'idée d'utiliser la pression de la vapeur d'eau comme force motrice remonte à une haute antiquité. Héron d'Alexandrie, 120 ans avant Jésus-Christ, décrit déjà dans un ouvrage plusieurs jouets à vapeur. Florence Rivault, en 1605, fit éclater une bombe en la remplissant d'eau et la mettant sur le feu. En 1615, Salomon de Caus imagina un appareil capable de faire monter de l'eau par la pression de la vapeur ; en 1629, Giovanni Branca construisit l'éolipyle, véritable machine à vapeur à rotation. La force de la vapeur était donc connue depuis longtemps.

L'historique de la machine à vapeur actuelle sera donné à mesure que nous décrirons ses principaux organes.

Chaudières. — Il existe trois sortes de chaudières : les chaudières à bouilleurs, les chaudières tubulaires et les chaudières Serpollet. Toutes les améliorations apportées dans la construction des chaudières ont toujours eu pour but d'augmenter la surface de chauffe, afin de produire le plus de vapeur dans le moins de temps possible. D'abord en fonte ou en cuivre, on les fait actuellement en fer forgé ou en acier. L'acier, utilisé vers 1855, donna d'abord de très mauvais résultats et détermina beaucoup d'explosions, mais on est parvenu à corriger ces défauts. La chaudière doit être très résistante : la pression, de 7 atmosphères pour les machines ordinaires à haute pression, monte à 12 atmosphères et plus pour certaines machines particulières, notamment dans les locomotives et les torpilleurs.

La chaudière à bouilleurs est la plus économique, mais elle ne peut servir qu'à la condition de disposer de beaucoup d'espace et seulement pour les machines à fonctionnement régulier. Elle consiste en trois cylindres remplis d'eau, communiquant

ensemble, autour desquels circulent les gaz chauds du foyer. On utilise la chaleur de ces gaz, à la sortie de la cheminée, pour chauffer l'eau d'alimentation. On peut supprimer la fumée du foyer par plusieurs dispositifs : par le lavage de la fumée à travers de l'eau, en la faisant passer sur une surface incandescente qui brûle les particules de charbon, en injectant un courant d'air ou de vapeur dans le fourneau, enfin en brûlant le combustible sur des grilles superposées. Ces appareils se nomment des *fumivores*. La chaudière porte un niveau d'eau, un sifflet d'alarme en cas de manque d'eau, un manomètre métallique de Bourdon, une soupape de sûreté. L'alimentation s'opère avec une pompe foulante ou plutôt avec un injecteur Giffard. Cet injecteur, dont on retrouve déjà le principe dans les trompes des forges catalanes, fut inventé en 1820 par Mannoury-Dectot dans le but d'élever de l'eau au moyen d'un jet de vapeur. L'appareil de Mannoury fut transformé en injecteur d'eau pour l'alimentation des chaudières par Giffard, en 1858. On empêche l'incrustation des chaudières à l'aide de substances très diverses, dites *désincrustantes*, qui agissent chimiquement ; le meilleur procédé consiste à agiter l'eau, d'après le système Dulac.

En 1786, Evans, aux États-Unis, construisit une chaudière à foyer intérieur. C'était déjà un acheminement vers les chaudières tubulaires. Marc Séguin, en 1828, eut l'idée de faire passer les flammes du foyer dans des tubes traversant la chaudière de part en part, ce qui augmentait considérablement la surface de chauffe. Dès 1829, Stephenson munissait sa locomotive, *The Rocket*, d'une chaudière tubulaire. Plus tard, vers 1855, la chaudière tubulaire fut également appliquée aux machines industrielles. Les tubes sont en fer ou en acier ; ils se préparent comme les canons de fusil. Les Anglais fabriquèrent les premiers ces tubes en 1808, en soudant ensemble des bandages de tôles de fer enroulées sur des mandrins, selon la méthode de James Russel. Mannesmann, en Allemagne, obtint des tubes d'acier sans soudures, au moyen d'un laminage oblique ; ils possèdent une résistance cinq à six fois supérieure à celle des tubes soudés.

Nathan Read, aux États-Unis, avait imaginé déjà, dès 1791, une chaudière tubulaire, inverse de la précédente : les tubes contiennent l'eau et les flammes circulent entre les tubes. En 1804, John Stevens appliquait cette chaudière à tubes bouilleurs aux bateaux à vapeur. Ces chaudières ont l'immense avantage d'être inexplosibles, car la rupture d'un tube comporte fort peu de danger en comparaison de celle d'une chaudière contenant beaucoup d'eau. On n'introduit, en effet, dans ce type de chaudière, que très peu d'eau à la fois, au fur et à mesure des besoins. On obtient rapidement, en quelques minutes, la vapeur nécessaire pour mettre sous pression.

La chaudière Field, à doubles tubes concentriques pour faciliter la circulation d'eau, employée dans les pompes à vapeur, donne une pression de huit atmosphères après onze minutes d'allumage. Les maisons Belleville, Farcot, Durenne, etc., en France, construisent des chaudières à circulation d'eau.

M. Serpollet, en 1889, a imaginé un nouveau système de chaudière, destiné à un brillant avenir. C'est un tube très épais de cuivre rouge, fortement chauffé dans un foyer, et au centre duquel circule un très mince filet d'eau. Cette eau, vaporisée instantanément, est portée à une très haute pression. L'alimentation d'eau se fait automatiquement, par la machine elle-même ; la production de vapeur est proportionnelle à l'effort nécessaire. La chaudière Serpollet s'applique plus particulièrement aux tramways et aux voitures à vapeur.

Moteurs. — Denis Papin en France, vers 1690, et Worcester, en Angleterre, à la même époque, construisirent le premier moteur à vapeur. Leur machine se composait d'un cylindre, contenant de l'eau à la partie inférieure, qu'on chauffait et dont la vapeur soulevait un piston. En cessant de chauffer l'eau, la vapeur se condensait au-dessous du piston et celui-ci descendait sous l'action de la pression atmosphérique. Newcomen perfectionna cette machine primitive, en condensant la vapeur par de l'eau froide ; en 1705, il installa sa machine chez un forgeron de Darmouth.

La machine de Newcomen reçut de nouveaux perfectionne-

ments de la part de divers inventeurs : Potter imagina l'ouverture automatique des soupapes, Smeaton améliora les pièces du mécanisme, Beighton alimenta la chaudière avec l'eau résultant de la condensation de la vapeur.

En 1764, le professeur Anderson chargea un simple ouvrier, James Watt, originaire de Greenock, de réparer une machine à vapeur de Newcomen. Watt la répara si bien qu'il en fit une machine nouvelle, la machine encore employée aujourd'hui, où la vapeur agit alternativement sur les deux faces du piston. En 1769, Watt prit un brevet et fit construire ses machines à l'usine de Carron, près de Glasgow, dirigée par Roebuck. Cette usine ayant sombré, Watt s'associa avec Boulton. Comme payement de leurs machines, les deux associés demandaient simplement le tiers de l'économie réalisée en houille. En 1785, la machine de Watt était appliquée à une filature de coton du comté de Nottingham.

Nous venons de résumer brièvement l'histoire de la machine à vapeur, invention qui a bouleversé, en moins d'un siècle, l'état de la civilisation. Il nous reste à mentionner les progrès les plus modernes.

La machine à vapeur a été considérablement perfectionnée, mais son principe demeure toujours le même, celui de Watt. La grande machine à balancier, avec transmission par parallélogramme, est la plus sûre et la plus régulière, mais elle manque de vitesse; elle reste employée dans les filatures, dans les pompes à feu, dans toutes les industries mécaniques exigeant une force régulière. La machine à transmission par excentrique de Murray donne des vitesses beaucoup plus grandes ; elle sert pour les locomotives, les locomobiles, pour l'éclairage électrique, pour les ateliers mécaniques, etc. On a construit des machines donnant de très grandes vitesses, jusqu'à 1500 tours à la minute.

Symmington imagina de faire traverser de part en part les deux faces du cylindre par la tige du piston, afin de régulariser le frottement du piston et de rendre l'usure plus égale. Murdoch construisit des machines à cylindres oscillants. Dès 1781, Jonathan Hornblower construisit la première machine com-

posée, dite *compound*, où la vapeur se détend successivement dans deux cylindres de diamètres différents ; cette machine ne devint pratique qu'en 1804, grâce à Arthur Woolf. On construit actuellement des machines compound à triple et même à quadruple expansion. La machine *tandem* de Willis Earle, datant de 1805, est une compound à deux cylindres inégaux superposés, avec tige commune et deux pistons. Sims, Aitkin, Steel, l'ont perfectionnée et ont employé trois cylindres. Signalons encore les machines Corliss et Farcot, à tiroirs cylindriques mobiles ; la machine Hicks à quatre cylindres accouplés, ne possédant ni tiroirs ni excentriques, d'un volume et d'un poids très réduits.

On a imaginé d'empêcher le refroidissement de la vapeur dans le cylindre, soit en le réchauffant avec de la vapeur, soit en l'enveloppant de matières peu conductrices. Signalons enfin les améliorations apportées dans la condensation de la vapeur d'eau et dans la détente, ce qui a pour effet de diminuer les dépenses de combustible.

Il faut bien l'avouer, la machine à vapeur, malgré tous ses perfectionnements, demeure encore une très mauvaise machine au point de vue du rendement, lequel ne dépasse guère le dixième de la force représentée par la combustion du charbon. Il faut donc prévoir l'époque où l'on découvrira un moteur de rendement meilleur et où l'on abandonnera la machine à vapeur de Watt.

Les machines à vapeur rotatives, où le mouvement de rotation est obtenu par la machine elle-même, sans intervention d'aucun organe de transmission, donnent un meilleur rendement et excellent pour la mise en marche des machines dynamos, des hélices, de tous les appareils exigeant une rotation rapide. Leur construction reste malheureusement encore très difficile. James Watt, dès 1769, avait tenté de construire une machine à rotation, composée d'un anneau creux avec piston, mais il ne put éviter les fuites de vapeur. Peu à peu perfectionnées, ces machines commencent à rendre des services ; elles donnent jusqu'à 18 000 tours à la minute, avec une puissance pouvant atteindre 10 chevaux (Filtz, Parsons, etc.).

Statistique. — La puissance totale des machines à vapeur du monde entier était évaluée à 46 millions de chevaux-vapeur pour 1887, ce qui équivaut au travail produit par un milliard d'hommes. Les États-Unis tiennent la tête avec 14 millions de chevaux; puis viennent l'Angleterre, l'Allemagne, la France, l'Autriche-Hongrie, etc.

Le nombre des machines à vapeur permet de mesurer très exactement la puissance matérielle des nations; il explique les changements politiques qui s'opèrent à la surface du globe et permet d'en prévoir de nouveaux. On peut encore en conclure que les nations civilisées ont la force nécessaire pour dompter le reste du monde, car leurs machines suppléent au manque de population ; elles n'ont plus rien à redouter d'une nouvelle invasion des barbares.

Ces 46 millions de chevaux-vapeur ne représentent pourtant qu'une force insignifiante vis-à-vis des forces colossales de la nature. Ils ne sont capables de soulever que trois cubes et demi d'eau ayant cent mètres de côté, à un mètre de hauteur en une seconde, résultat d'une faiblesse considérable quand on le compare à l'action lunaire qui soulève les eaux de la mer et à la force du vent qui soulève les vagues. C'est le cas de répéter le mot de Pascal : « Que l'homme est grand, mais qu'il est petit! »

Le nombre des machines à vapeur, en France, a suivi une marche ascendante très rapide :

	Machines.	Chevaux-vapeur.
1840	2.996	59.000
1870	33.761	884.000
1890	75.749	5.175.996

Ces chiffres démontrent la vitalité admirable de notre pays.

IV. — MACHINES A GAZ.

La vapeur n'agit en somme, dans la machine à vapeur, que par sa force élastique; il vient donc à la pensée de chercher à remplacer cette vapeur par un autre gaz sous pression. Il résulte même des travaux de Hirsch que les machines à gaz don-

nent un rendement supérieur à celui des machines à vapeur.

Machines à air chaud. — En 1816, Robert Stirling émit l'idée de faire mouvoir le piston au moyen d'une masse d'air alternativement chauffée et refroidie, la variation de volume de cette masse correspondant à la course du piston. Le célèbre ingénieur suédois Ericsson, en 1852, construisit une machine fondée sur ce principe. A partir de 1878, Rider fabriqua, aux États-Unis, des machines à air chaud, très répandues dans ce pays pour le cas où l'on n'a besoin que de forces assez faibles.

Machines à gaz ammoniac. — M. Frot a profité de la solubilité du gaz ammoniac dans l'eau pour obtenir facilement la condensation de ce gaz. Il fait agir sur le piston le gaz ammoniac sous pression, obtenu en chauffant une solution saturée d'ammoniaque ; le gaz, après avoir agi sur le piston, vient se redissoudre dans de l'eau qu'on ramène dans la chaudière. Ce procédé économique est peut-être destiné à prendre de l'importance.

Machines au gaz d'éclairage, au pétrole, etc. — On a songé depuis longtemps à se passer de chaudière pour mettre le gaz sous pression ; il suffit pour cela d'enflammer un mélange de gaz détonant ou une substance capable de produire une grande quantité de gaz par déflagration.

En 1678, l'abbé Hautefeuille proposa d'enflammer alternativement de la poudre à canon de chaque côté du piston ; Huyghens, deux ans plus tard, essaya même de mettre cette idée en pratique. Niepce, en 1806, fit de nouveaux essais avec des poudres moins explosibles. Toutes ces tentatives ont échoué.

Les machines qui utilisent l'explosion des mélanges détonants ont fourni de bien meilleurs résultats. Philippe Lebon, l'inventeur du gaz d'éclairage, songea dès 1801 à construire une machine dans laquelle le piston était alternativement poussé par l'explosion d'un mélange d'air et de gaz d'éclairage ; il mourut assassiné avant d'avoir pu mettre son projet à exécution. En 1826, Dubain et Galy-Calazat essayèrent aussi un mélange d'air et d'hydrogène. L'idée de Lebon fut reprise par Samuel Brown, Wrigt et Siemens, et finalement rendue pratique en 1860

par Hugon et Lenoir. La machine Lenoir, construite par Marinoni, consommait trop de gaz; en 1867, Otto et Largen, de Cologne, rendirent cette machine beaucoup plus parfaite : ils la construisirent à simple effet, comprimèrent le mélange avant l'explosion et réduisirent la dépense au tiers. Les dernières machines enflamment le mélange explosif au moyen de la flamme d'un bec de gaz, procédé très commode, alors que les machines primitives utilisaient l'étincelle électrique, si capricieuse. La dépense de gaz s'est abaissée à 600 litres par heure et par cheval.

Le gaz d'éclairage étant cher, on a essayé de lui substituer de l'oxyde de carbone, obtenu en faisant passer un courant d'air à travers une couche épaisse de charbon porté au rouge, ou des vapeurs de pétrole. Ce mélange d'air et de pétrole, ou même d'essence de térébenthine, avait été d'ailleurs essayé avant le mélange d'air et de gaz d'éclairage, dès 1791 et 1794 par John Barber et Robert Street. En 1852, Tremblay construisit une machine à éther de pétrole pour canots. Lenoir, Brayton, Dusaulx, etc., ont imaginé des machines à pétrole.

Les nouvelles voitures, dites à vapeur, utilisent un excellent moteur à pétrole, inventé par M. Deimler.

Les moteurs à gaz se vulgarisent de plus en plus; on les utilise pour actionner les dynamos destinées à l'éclairage électrique, pour les canots de plaisance, pour les usines exigeant un moteur peu puissant. On fait cependant des machines à gaz de 100 chevaux-vapeur.

V. — MOTEURS ÉLECTRIQUES.

Machines génératrices de l'électricité. — Thalès de Milet (600 av. J.-C.) parle déjà de l'attraction des corps légers par l'ambre préalablement frotté. Ce phénomène devait être signalé depuis la plus haute antiquité. Jusqu'à la fin du XVIII[e] siècle on ne connut que les machines électriques *à frottement*, fournissant des quantités extrêmement faibles d'électricité. La première étincelle électrique ne fut obtenue qu'au milieu du XVII[e] siècle, par Otto de Guericke.

En 1794, Volta, physicien à Pise (Italie), construisit la première pile, instrument où l'électricité résulte des réactions chimiques et qui fournit un courant électrique d'une intensité bien supérieure à celle des machines à frottement. La pile de Volta fut perfectionnée par une foule d'inventeurs, parmi lesquels il convient de citer plus particulièrement Wollaston, Becquerel, Daniell, Grove, Bunsen, Poggendorff (pile au bichromate de potasse), Leclanché, Jablochkoff, etc., etc.

Les courants thermo-électriques, découverts par Seebeck, permirent aussi de transformer la chaleur en électricité au moyen des piles de Clamond, Noé, etc.

Toutes ces piles avaient un débit trop faible pour être utilisées comme force motrice dans l'industrie. Il fallait une source plus puissante d'électricité. Cette source fut enfin obtenue au moyen de la machine dynamo-électrique qui transforme le mouvement en électricité. Cette machine dérive de plusieurs découvertes fort importantes : Œrsted, physicien danois, trouva en 1820 l'action mutuelle des courants sur les aimants, ce qui amena bientôt Arago à construire les électroaimants. En 1832, Faraday, autre physicien anglais, découvrit les phénomènes de l'induction, et Pixii, la même année, put construire la première machine magnéto-électrique. La machine de Pixii fut perfectionnée en 1833 par Sexton, en 1834 par Clarke, en 1850 par Nollet, qui la fit servir à l'éclairage électrique des phares. En 1866, Wilde transformait la machine magnéto-électrique en machine dynamo-électrique, en substituant des électroaimants, plus puissants, aux aimants fixes employés jusque-là. La machine de Wilde était utilisée pour la galvanoplastie. Cette machine reçut des perfectionnements successifs par Siemens en 1867, par un jeune étudiant de Pise, nommé Pacinotti, qui inventa le fameux anneau dont se servit Gramme en 1869, par Siemens et Halske en 1873, etc., etc. Les machines plus récentes de Fritsch, Desrozière, etc., n'utilisent même plus les électroaimants, mais simplement des solénoïdes.

En 1881, Marcel Deprez, en excitant l'électroaimant par le courant induit et par une dérivation de ce courant, parvint à

obtenir une machine, dite *compound*, à intensité constante. L'automagnétisme de l'électroaimant avait d'ailleurs été découvert dès 1867 par Siemens.

Accumulateurs. — Les accumulateurs sont des sources d'électricité très puissantes, empruntant leur énergie électrique à des réactions chimiques produites par un courant électrique : ils ne font que restituer l'électricité qui leur a été déjà fournie. Ils ont le grand avantage de permettre le transport de l'énergie électrique à de grandes distances, en dehors de l'usine génératrice, sans l'intermédiaire de fils conducteurs. Ils jouent donc le même rôle que le gaz portatif.

Les accumulateurs furent découverts dès 1803 par Ritter, qui signala le premier l'existence des courants secondaires. Planté, en 1859, imagina les accumulateurs à lames de plomb, successivement perfectionnés en 1879 et pendant les années suivantes par Faure, Sellon, Volckmar, Tommasi, Siemens, Reynier, d'Arsonval, etc. Faure fut le premier à leur donner une application industrielle. L'immense défaut des accumulateurs actuels est leur poids trop considérable : il est de 40 kilogrammes par cheval et par heure.

Moteurs électriques. — En 1834, Jacobi, à Saint-Pétersbourg, construisit le premier moteur électrique en se basant sur l'attraction des électroaimants et du fer doux. Sa machine, destinée à faire mouvoir un bateau sur la Néva, ne fut pas assez puissante pour remplir son but ; les piles qui l'actionnaient donnaient trop peu d'électricité. Si le moteur électrique manquait de puissance, il possédait par contre une parfaite régularité de mouvement et Froment put s'en servir pour construire ses appareils de précision.

Le moteur électrique à grande puissance ne pouvait donc exister que du jour où l'on posséderait une source électrique, également de grande puissance ; or il est arrivé ce fait singulier, à savoir que la machine dynamo, qui fournit l'électricité en abondance, représente en même temps un moteur électrique excellent. La machine dynamo est en effet réversible, c'est-à-dire qu'elle tourne quand on la fait traverser par un courant.

L'électricité met donc l'homme en possession d'un nouveau procédé admirable pour transporter la force à distance. Supposons une machine dynamo, actionnée à Paris, par exemple, au moyen d'une machine à vapeur, d'une chute d'eau, d'un moulin à vent, d'une force quelconque. Mettons cette machine en communication, au moyen de fils, avec une seconde machine dynamo placée à Creil : la machine de Creil sera mise en rotation par celle de Paris, et la force, créée à Paris, sera ainsi transportée à Creil.

La première transmission de la force électrique à distance fut faite à l'Exposition de Vienne, en 1873, par M. Fontaine, au moyen de deux machines de Gramme. En 1886, M. Marcel Deprez fit des expériences fort intéressantes entre Paris et Creil, à une distance de 50 kilomètres ; il parvint à transmettre les 52 centièmes de la force, au moyen des fils télégraphiques de la Compagnie des chemins de fer du Nord.

En 1891, au moyen des courants polyphasés, on est parvenu à transmettre, des chutes de Lauffen à Francfort, à une distance de 175 kilomètres, les 75 centièmes de la force primitive. Les chutes de Lauffen fournissaient une force de 300 chevaux ; on se servait d'une machine génératrice à potentiels très élevés, allant jusqu'à 25 000 volts. Les fils de bronze, au nombre de trois, avaient quatre millimètres de diamètre. On faisait aussi usage de transformateurs à bain d'huile.

Il est facile de prévoir toute l'importance d'une semblable découverte. L'homme devient ainsi libre de transporter à d'énormes distances des forces jusqu'ici inutilisées à cause de leur trop grand éloignement des centres industriels ou des grandes villes. Les chutes du Niagara, totalement absorbées par des turbines hydrauliques, produiraient par jour une force de 16 millions de chevaux-vapeur, trois fois plus qu'il n'en faut pour remplacer toutes les machines à vapeur de la France.

CHAPITRE V

APPAREILS DE LOCOMOTION.

I. — LOCOMOTION TERRESTRE.

Voitures. — Les voitures sont à traction d'animaux (cheval, mulet, âne, bœuf), à traction à vapeur ou à traction électrique.

Voitures à traction animale. — Les premières voitures furent un traîneau, sans roues, et une litière portée à bras d'hommes. Les Égyptiens (2000 av. J.-C.) connaissaient déjà l'usage des chars, chariots, charrettes, à deux et quatre roues, mobiles sur essieux. Ils savaient aussi suspendre la caisse des chars au moyen de courroies, afin d'amortir les chocs.

Si nous abordons les temps plus modernes, nous voyons que les chaises à porteur dominaient encore sous Henri IV et sous Louis XIII, et que les carrosses prirent surtout de l'importance avec le règne de Louis XIV. Ces carrosses étaient de grandes dimensions, très lourds, dorés et surchargés d'ornements. On réservait le carrosse à la noblesse, tandis que la bourgeoisie faisait usage de calèches, de berlines, de chaises de poste, de cabriolets, etc.

Nicolas Sauvage, en 1650, loua pour la première fois des fiacres à la journée dans Paris ; puis on les prit à l'heure et à la course, comme aujourd'hui d'ailleurs. Quant aux omnibus, ils datent à peu près de la même époque ; en 1662, on établit dans Paris sept lignes d'omnibus, dont l'usage fut d'abord interdit

au peuple. Celui-ci se vengea en brisant les omnibus à coups de pierre.

Les landaus, les phaétons, les diligences sont plus récents et ne datent que du XVIII[e] siècle.

Le XIX[e] siècle, siècle de luxe et de déplacements à outrance, a considérablement perfectionné les voitures de luxe et même celles destinées au commerce. Les voitures des siècles précédents étaient lourdes et d'une solidité massive pour pouvoir circuler sur des routes mal entretenues et toujours défoncées ; aujourd'hui que les chemins sont excellents, on construit des voitures légères, spacieuses, commodes, élégantes, et cependant d'une grande solidité. Les Anglais et les Français ont surtout contribué à ce perfectionnement, en sorte que les modèles anglais et français se retrouvent maintenant dans toutes les grandes villes du monde. Les Anglais ont inventé les calèches à huit ressorts, le tilbury, le *dog-cart*, le *tandem*, le panier, la victoria, le *mail-coach* pour courses. Les Français ont imaginé les coupés de grand luxe, les petits coupés, les calèches modernes, les landaus qui se couvrent ou se découvrent à volonté. La Russie emploie beaucoup les *drowskis* et les traîneaux à neige. Aux États-Unis, on trouve aussi quelques voitures de formes spéciales.

Les omnibus de Paris, jadis si incommodes, ont été perfectionnés et agrandis par la Compagnie générale. Il en est de même pour les omnibus des chemins de fer et les omnibus de famille. Il n'est pas jusqu'aux simples brouettes, fardiers, chariots, tombereaux, charrettes, fourgons, camions, qui n'aient été transformés dans ces dernières années. Les voitures pour malades et pour enfants sont admirables de grâce, de légèreté et très bien appropriées à leur destination.

Les Anglais nous étaient d'abord bien supérieurs ; mais, depuis 1816, nous avons fait de grands progrès et nous construisons maintenant aussi bien qu'en Angleterre. L'Espagne et la Russie rivalisent avec la France et l'Angleterre. Les pays musulmans ont conservé l'amour des broderies d'or et d'argent, aux dessins harmonieux, pour le harnachement des chevaux et

la décoration des voitures. Le harnachement a acquis, au contraire, une grande simplicité dans les autres pays.

Voitures à vapeur. — La première voiture à vapeur, construite vers 1763 par un officier du génie, Joseph Cugnot, consistait en une sorte de tricycle portant une petite machine à vapeur. Le premier essai fut malheureux, car la voiture alla se heurter contre un mur qu'elle renversa. En 1786, Olivier Evans, aux États-Unis, refit une nouvelle tentative. Puis, dans les premières années du XIXe siècle, ce fut le tour de Watt, de Murdoch et autres inventeurs. Toutes ces tentatives échouèrent. Enfin, en 1833, Macerone et Squire parvinrent à construire une véritable voiture à vapeur, réellement pratique. Par des perfectionnements successifs, on était arrivé à des résultats remarquables. La voiture à vapeur de M. Bollée, du Mans, pour ne citer qu'un exemple, put emporter deux voyageurs, parcourir 80 kilomètres sans renouveler sa provision de charbon, avec une vitesse moyenne de 25 kilomètres à l'heure et remonter les plus fortes rampes.

On en était déjà là quand, en 1889, M. Serpollet imagina sa chaudière à tube étroit, qui devait amener une révolution dans la construction des voitures à vapeur. Le problème entre maintenant dans une nouvelle phase et les voitures à vapeur vont devenir réellement pratiques. Le XXe siècle verra probablement disparaître les chevaux attelés aux voitures. Les voitures Serpollet régularisent elles-mêmes l'injection de l'eau dans la chaudière, qui peut donner sans danger une pression dépassant 100 atmosphères, avec coup de collier comme un cheval.

On construit également d'excellentes voitures, mues par des moteurs à pétrole (système Deimler).

Voitures électriques. — Le problème de la traction des voitures par l'électricité est encore bien moins avancé. Cela tient à l'énorme poids des accumulateurs qu'il faut emporter avec soi. M. Graffigny a fait usage d'une pile de 36 éléments, à acide chromique et acide chlorhydrique. Rien ne peut encore faire prévoir la solution pratique de la traction des voitures par l'électricité.

Chemins de fer. — **Historique.** — L'idée de faire rouler les roues des voitures sur des rails remonte à une très haute antiquité. Les Romains, comme cela se pratique encore de nos jours dans les villes de la Haute-Italie, avaient établi des bandes parallèles de pierres plates dans les rues et même sur les principales routes. Les véritables rails furent employés d'abord en Angleterre, au commencement du XVIIe siècle, pour l'usage des mines. Les rails, d'abord en bois, se firent ensuite en pierres, puis en fonte et finalement en fer dès 1805. En 1820, on comptait déjà 600 kilomètres de rails en fer dans les environs de Newcastle et 400 kilomètres dans le Pays de Galles. Les matériaux étaient transportés dans des wagons, traînés par des chevaux. En 1825, on transporta même des voyageurs par ce procédé de Stockton à Darlington. Les tramways ont donc précédé les véritables chemins de fer.

L'idée d'appliquer la machine à vapeur à la traction des wagons sur rails remonte à 1804. Trévithick, à cette époque, construisit une locomotive à un seul piston agissant sur une seule roue. Cette invention fut fort peu remarquée. En 1811, Blenkinsop fit une première tentative sérieuse de traction à la vapeur sur une voie de fer posée entre Leeds et Middleton. Il crut nécessaire de se servir de rails dentés et de roues dentées afin d'obtenir plus d'adhérence ; mais Blachet, deux ans plus tard, montra que l'adhérence était suffisante avec des rails unis. Entre 1814 et 1827, on fit faire de nouveaux progrès à la construction des locomotives. Les frères Stephenson perfectionnèrent la machine à un seul piston ; Hackworth, en 1825, inventa le type actuel à deux cylindres accouplés ; Marc Séguin construisit à cette époque sa chaudière tubulaire.

On entrevit alors la possibilité de la traction sur rails au moyen de la locomotive. Une Compagnie, formée des principaux négociants de Liverpool et de Manchester, se fonda en 1825 et résolut de construire une voie ferrée pour le service des voyageurs entre ces deux villes. En 1826, on obtenait une autorisation du Parlement et la Compagnie se fonda définitivement au capital de 40 millions, sous la direction des ingénieurs Georges

et John Rennie, les fils de l'illustre ingénieur de ce nom. On décida de mettre au concours la meilleure locomotive, avec un prix de 12500 francs pour le vainqueur. La locomotive devait peser 6000 kilos au maximum, traîner un poids de 18000 kilos et atteindre une vitesse de 16 kilomètres à l'heure. Ces conditions nous paraissent bien mesquines aujourd'hui, mais elles semblaient très hasardées à cette époque.

En 1829, au jour fixé pour le concours, il se présenta trois concurrents : Georges Stephenson, avec sa locomotive *The Rocket* (la Fusée), Ericsson et Hackworth. *The Rocket* fut victorieuse, avec une vitesse de 32 kilomètres à l'heure. Stephenson avait remporté la victoire grâce à l'emploi de la chaudière tubulaire de Séguin et à l'idée d'avoir activé le tirage en lançant la vapeur dans la cheminée.

Le problème étant résolu, il fallut encore créer la voie, les gares, les aiguilles, les signaux, le matériel roulant. Enfin l'exploitation de la ligne put commencer en 1830. Sa longueur était de 50 kilomètres. Dès la première année, les recettes montèrent au quadruple des prévisions. Un résultat aussi inespéré fit que des Compagnies se fondèrent aussitôt de toutes parts en Angleterre pour la construction des voies ferrées. Dès 1849, les Compagnies anglaises, sans aucun secours du gouvernement, avaient consacré un capital de huit milliards de francs à la construction des chemins de fer. Nous devons sincèrement admirer cette puissance d'initiative de la nation anglaise.

L'exemple de l'Angleterre fut bientôt imité par les États-Unis. La France et les autres pays furent obligés de suivre le progrès, souvent à contre-cœur de la part des gouvernements. Les premières lignes concédées en France furent celles d'Alais à Beaucaire, puis de Paris à Saint-Germain. Il est bien entendu que nous parlons seulement des lignes destinées aux voyageurs, car la France possédait déjà depuis longtemps, comme l'Angleterre, des voies ferrées pour le transport de la houille. La première locomotive fit même son apparition en France, dès 1832, sur le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon.

Il est impossible d'imaginer combien les chemins de fer ont

été mal accueillis à leur début et quelles sottes objections ont été faites, même par les hommes d'esprit et de grand savoir. En 1825, un journaliste anglais déclarait qu'il aimerait mieux se laisser attacher à une fusée que d'être entraîné par une locomotive à la vitesse insensée de 15 kilomètres à l'heure ! La force armée dut protéger en Angleterre les premières voies ferrées que le peuple voulait détruire, sous le prétexte que la locomotive allait mettre le feu aux champs et effrayer les bestiaux.

En France, l'opposition fut également très vive. Thiers déclara que les chemins de fer n'avaient aucun avenir ; Arago, le célèbre savant, s'en moqua et déclara qu'il fallait en empêcher l'établissement pour éviter aux voyageurs des refroidissements dans les tunnels. Mais le progrès est heureusement supérieur aux hommes ; les chemins de fer ont vaincu toutes les difficultés, confondu leurs détracteurs et renouvelé la civilisation par le mélange des peuples, des mœurs et des idées. Mais n'oublions pas que ce progrès a été possible uniquement grâce à la locomotive, c'est-à-dire à la machine à vapeur.

Matériel actuel. — Tout le matériel des chemins de fer a reçu de nombreux perfectionnements. Les locomotives possèdent une plus grande puissance et atteignent des vitesses dépassant cent kilomètres à l'heure. Crampton a construit des machines à six roues, avec roues motrices à l'arrière, pour trains à grande vitesse. Puis on a multiplié les roues, et l'on fait usage actuellement de machines ayant jusqu'à douze roues couplées ensemble. Il existe aussi des locomotives spéciales pour le service intérieur des gares et pour les voies étroites. On trouve au Mexique des machines capables de remorquer 130 000 kilos sur les rampes les plus fortes ; elles se composent de deux locomotives accouplées, avec une cheminée à chaque extrémité.

Au mois de février 1894, M. Heilmann a fait, entre le Havre et Beuzeville, une très intéressante expérience avec une locomotive électrique. Cette locomotive porte une machine à vapeur qui actionne une machine électrique dynamo, laquelle

sert à actionner des moteurs dynamos qui mettent en rotation les essieux des roues de la locomotive et des voitures. Cette distribution de la force motrice dans toutes les parties du train est très avantageuse. La locomotive Heilmann développe une force de 800 chevaux. Elle a remorqué 90 000 kilogrammes avec une vitesse de 80 kilomètres par heure sur une rampe de 3 millimètres d'inclinaison par mètre.

Les voitures pour voyageurs et les wagons à marchandises ont également reçu de grands perfectionnements. On a construit des voitures spacieuses, bien aérées, beaucoup plus commodes que les anciennes Il existe des voitures de luxe, des restaurants ambulants, des fauteuils-lits. On peut citer comme modèles les voitures du *Canadian Pacific Railway*, au Canada. Chaque voiture, de 21 mètres de longueur, se compose d'un salon central qui se transforme la nuit en dortoir, avec de grandes baies vitrées, puis de lavabos, d'une cuisine, de cabinets particuliers, d'une bibliothèque, d'un compartiment spécial pour observer le paysage. On peut librement passer d'une voiture à une autre. En Europe, il circule des trains de luxe semblables, notamment sur la ligne de Paris à Constantinople. Les États-Unis ont inauguré ce genre de voitures si confortables.

L'éclairage et le chauffage des voitures laissent peu à désirer. Jadis, les lampes étaient éclairées à l'huile de colza ; l'Allemagne et l'Autriche employèrent les premières l'essence de pétrole. Quant à l'éclairage au gaz, il fut inauguré sur le *Metropolitan* de Londres. Cet éclairage a fait surtout de grands progrès en Allemagne, où, en 1889, on comptait 17 400 voitures éclairées au gaz, tandis que l'Angleterre en possédait seulement 4400 et la France 3200. L'éclairage électrique, au moyen de dynamos actionnées par la locomotive ou par des accumulateurs, fut essayé en 1881 sur la ligne de Londres à Brighton, puis sur la ligne du Nord, en France.

Le chauffage se fait avec des bouillottes, une circulation d'eau chaude ou de vapeur, ou avec des chaufferettes à charbon aggloméré.

« Les freins permettent actuellement d'arrêter un convoi en

quelques secondes. Jadis, les freins étaient rares et manœuvrés par des hommes placés dans des guérites. Chaque voiture ou wagon possède aujourd'hui son frein, que le mécanicien actionne de sa locomotive. En 1860, MM. Martin et du Tremblay imaginèrent le frein à vide, que Westinghouse, aux États-Unis, transforma bientôt en frein à air comprimé. En 1878, Achard fit l'essai d'un frein électrique sur le réseau de l'Est. Les signaux d'alarme laissent encore à désirer et fonctionnent rarement. » (*Rapport sur l'Exposition de 1889.*)

La voie a subi des transformations. Les traverses sont généralement en bois de chêne, rendu imputrescible par le procédé Boucherie, par injection au moyen du vide ou de la pression de sulfate de cuivre, de sublimé corrosif, de créosote ou de chlorure de zinc. On les flambe aussi superficiellement. Certains pays, comme l'Algérie, font usage de traverses en fer. On a également essayé de faire des voies métalliques à traverses ou à supports longitudinaux en fer. M. Bucknall construit des traverses en granit qu'il fond et coule comme du fer.

Les rails ont varié de formes. Plats en 1767, on les fit à rebord vertical, puis en T à la fin du XVIIIe siècle. Ils étaient alors en fonte. En 1820, John Birkinshaw, maître de forges à Bedlington, construisit des rails en fer; enfin, à partir de 1860, l'acier se substitua au fer. On se sert de la forme à patin, type Vignole, ou de la forme à double champignon, qui est la plus habituelle. Les rails ont aussi considérablement augmenté de poids et de longueur. Chaque rail pesait au début 13 kilogrammes par mètre de longueur; il pèse actuellement jusqu'à 52 kilogrammes. La longueur, de 5m,50 environ au début, atteint maintenant 11 mètres; on en fabrique même ayant jusqu' à 45 mètres de longueur.

On a perfectionné le mécanisme des changements de voies. Chaque changement possédait son aiguille et exigeait la présence d'un employé spécial. On a maintenant réuni tous les leviers dans une cabine spéciale ; là, un seul homme, bien à couvert et renseigné exactement par un système de signaux électriques, peut manœuvrer tous les leviers placé

sous sa main. Ce système a été essayé pour la première fois à Crewe, en Angleterre.

La télégraphie électrique apporte un concours puissant pour la transmission des signaux. On a installé le premier télégraphe électrique, en 1839, sur le *Great-Western*. En 1844, les Allemands ont imaginé les cloches électriques, adoptées en France depuis 1877; également en 1844, les Anglais inaugurèrent, sur la ligne de Norwich à Yarmouth, le *block-system*, lequel partage la voie en divers tronçons. Le block-système fut adopté dès 1847 par le réseau de l'Ouest en France.

On a également perfectionné d'une manière sensible les signaux de nuit et les disques.

Chemin de fer Decauville. — Les chemins de fer à voie large, nécessaires pour le grand trafic et pour les grandes vitesses, sont au contraire très onéreux pour les petites lignes que l'État doit subventionner au détriment de l'intérêt général. M. Decauville a donc imaginé, pour le trafic local, des chemins de fer à voie étroite; ses ateliers sont situés à Petit-Bourg, près de Corbeil. La voie Decauville est économique et facile à installer rapidement. Les Anglais en ont fait usage pour le transport de leur armée dans la dernière campagne d'Égypte. Il rend également de très grands services pour le transport des produits agricoles, à travers les champs.

Chemin de fer glissant. — Nous voulons dire un mot du très curieux chemin de fer glissant que Girard inventa dès 1854 et qu'on a pu voir fonctionner à l'Exposition universelle de 1889, perfectionné par M. Barre. Girard avait fait ses premiers essais entre Bougival et Rueil. C'est un chemin de fer sur lequel glissent des voitures portées par des patins contenant de l'eau comprimée. L'eau, qui s'échappe continuellement des patins, forme une couche mince entre le rail et les patins, d'où un glissement rapide sans frottement appréciable; le moteur consiste en une turbine hydraulique. Ce système, jusqu'ici fort peu pratique, exige une installation trop compliquée de conduites d'eau.

Statistique. — L'accroissement des voies ferrées a suivi une

marche très rapide dans le monde entier, ainsi que le montre le tableau suivant :

	Kilomètres.
1840	8.641
1860	106.886
1870	221.980
1885	484.489
1890	617.000

Il en résulte que la civilisation progresse avec une rapidité merveilleuse sur le globe, car les chemins de fer apportent partout le progrès avec eux.

Voici comment se répartissent les chemins de fer dans les différentes parties du monde (1890) :

	Kilomètres.
Europe	224.000
Amérique	331.000
Asie	33.000
Afrique	9.000
Australie	19.000
Allemagne	42.000
France	39.000
Angleterre	32.000
Russie	31.000
Autriche-Hongrie	27.000
Italie	13.000
Belgique	13.000

En 1888, on évaluait le capital engagé dans les chemins de fer à 151 milliards de francs, dont 75 milliards pour l'Europe. Il était transporté par année près de deux milliards de voyageurs et un milliard et demi de tonnes de marchandises.

Le nombre des locomotives s'élève à 109 000, dont 35 000 aux États-Unis, 17 000 en Angleterre, 15 000 en Allemagne et 11 000 en France. La fabrication des rails alimente une forte part de l'industrie métallurgique. En 1880, l'Europe en a produit 2 250 000 tonnes :

	Tonnes.
Angleterre	800.000
Allemagne	400.000
France	275.000
Autriche-Hongrie	250.000
Belgique	150.000
Suède et Russie	150.000

Voici la statistique particulière de la France pour 1889 :

Locomotives	9.378 (*)
Voitures de première classe	4.500
— de seconde	10.000
— de troisième	10.000
Wagons à marchandises pour trains de voyageurs..	10.000
— à marchandises ordinaires	235.000

Œuvres d'art et de génie civil nécessitées par les chemins de fer. — Les chemins de fer ne connaissent plus d'obstacles et les franchissent tous. On a d'abord suivi les vallées, mais on traverse aujourd'hui les fleuves et les bras de mer sur des ponts gigantesques, on coupe les montagnes par des tunnels ou on les gravit avec des rampes, on s'aventure au milieu des plus affreux déserts. Les chemins de fer ont été l'occasion de travaux admirables auprès desquels pâlissent les merveilles des anciens. On a construit des gares de dimensions colossales. La fameuse tour Eiffel n'est qu'une tentative hardie où l'ingénieur a voulu montrer la possibilité de construire des ponts ayant des piles de 300 mètres de hauteur.

Les ponts en pierre, d'une durée indéfinie, économiques, d'un entretien facile, ont pris un aspect monumental et une hardiesse que les anciens ignoraient, grâce à l'emploi de matériaux d'une plus grande résistance. L'antiquité se bornait à construire des ponts à voûtes étroites ; actuellement, les arches ont des dimensions gigantesques. Citons, en France, les viaducs de Nogent-sur-Marne près Paris, le viaduc du Point-du-Jour à Paris même, celui de la Méaugon dans les Côtes-du-Nord, ceux de Morlaix et de Châteaulin dans le Finistère, de la Fure entre Grenoble et Saint-Rambert, de Chalonnes, sur la Loire, près d'Angers, etc.

Les ponts métalliques ont l'avantage de se construire plus vite et plus facilement que les ponts en pierre, mais ils ont moins de durée et de solidité. Dans maintes circonstances, pour le passage des fleuves profonds et des bras de mer, par exemple, le pont de fer devient seul possible. L'acier remplace le fer depuis quelques années. On se sert le plus souvent de ponts à

(*) Représentant 3 365 000 chevaux.

poutres droites, très économiques, plus faciles à construire, exigeant des piles moins fortes à cause de la poussée qui est verticale. Les ponts *tubulaires*, inventés en Angleterre, sont des ponts à poutres droites, mais avec encagement, ce qui augmente la rigidité. Robert Stephenson a le premier construit des ponts métalliques d'une hardiesse étonnante sur les détroits de Conway et de Menai, en Angleterre.

Parmi les ponts métalliques, il convient surtout de citer ceux de Brooklyn à New-York, du Douro près de Porto en Portugal, de Garabit en France et du Forth en Angleterre. Le pont de Brooklyn a 1825 mètres de longueur, avec une travée centrale de 486 mètres. Le pont du Douro, construit par M. Eiffel, présente une travée centrale de 160 mètres, à 60 mètres au-dessus du niveau de l'eau. Le pont de Garabit, construit également en acier par M. Eiffel, sur les plans de Léon Boyer, jeune ingénieur de grand talent mort à Panama, s'élève à 122 mètres avec arc central de 165 mètres. Enfin le pont du Forth, inauguré en 1890, a des piles de 110 mètres de hauteur, avec deux travées centrales de 521 mètres d'ouverture chacune ; sa longueur est de 1599 mètres.

Le tunnel du Mont-Cenis, percé de 1857 à 1871, s'étend sur une longueur de 12200 mètres. Le creusement du tunnel ne fut possible que grâce à la construction, par Sommeiller, de machines perforatrices, mues par l'air comprimé, selon les idées théoriques du savant Colladon, de Genève. Des machines semblables avaient été également imaginées par l'ingénieur anglais Barlett, attaché au chemin de fer Victor-Emmanuel. On se trouvait dans l'impossibilité de creuser des puits verticaux à cause de la hauteur de la montagne, ce qui empêchait le renouvellement de l'air et l'emploi de machines à vapeur. L'air était comprimé à l'entrée du tunnel et envoyé par des tubes jusqu'au fond de la galerie pour actionner les machines perforatrices.

Grâce à l'expérience acquise dans le creusement du tunnel du Mont-Cenis, la durée du percement des autres tunnels a été considérablement réduite. Le tunnel du Saint-Gothard, terminé en dix ans, de 1872 à 1882, développe une longueur de

14 920 mètres ; celui de l'Arlberg (Tyrol), creusé en quatre ans, de 1880 à 1884, est de la longueur de 10 270 mètres.

Les chemins de fer du Righi, du Pilate, de Generoso, en Suisse, de Kahlenberg, de Schwabenberg, en Autriche, du Mont-Washington, aux États-Unis, escaladent les montagnes sur des rampes vertigineuses. Les trains se remorquent au moyen de machines spéciales à roues dentées, avec rail central à crémaillère, ou au moyen de machines fixes et de câbles. Dans ce dernier cas, le chemin de fer prend le nom de *funiculaire*.

Certaines lignes atteignent des longueurs immenses et traversent des pays inhabités. Le *Canadian Pacific Railroad*, qui réunit Montréal à Vancouver, traverse l'Amérique du Nord, sur une longueur de 4500 kilomètres ; le voyage dure six jours. Le train emporte tout ce qui est nécessaire à l'existence des voyageurs.

Le général russe Annenkoff a construit, en deux années seulement, la ligne de 1442 kilomètres réunissant Onzoun-Ada, sur la Caspienne, à Samarkande dans les steppes de l'Asie. Les Russes achèvent actuellement une ligne de fer de 6000 kilomètres de longueur, traversant la Sibérie, destinée à réunir l'Oural à Vladivostok, sur la mer du Japon. Enfin, la France se décidera probablement un jour à construire le Transsaharien, depuis Alger jusqu'au Soudan, à travers le Sahara.

Tramways. — Les tramways ne sont pas d'origine très récente et ils ont précédé de longtemps les chemins de fer. Ils étaient déjà employés dans les houillères de l'Angleterre, au XVIe siècle, mais à l'état excessivement rudimentaire ; déjà plus perfectionnés au XVIIIe siècle, ils ne deviennent réellement pratiques, en quittant les régions houillères pour les grandes villes, que vers le milieu du XIXe siècle.

L'invention des tramways destinés au transport des voyageurs était toute naturelle dans les régions houillères, où l'on transportait déjà les matériaux dans des wagons tirés par des chevaux et roulant sur rails. L'idée de construire des tramways semblables dans les villes germa aux États-Unis, où, vers 1832, on construisit une première ligne de New-York à Harlem. Cette

première tentative n'eut aucun succès. Reprise en 1852 à New-York également par un ingénieur français, Loubat, elle réussit cette fois et les tramways se multiplièrent rapidement dans les États de l'Union. Loubat avait résolu les difficultés pratiques qui avaient enrayé l'invention au début : la principale consistait à donner à la voie très peu de relief au-dessus du sol, de manière à ne pas gêner la circulation des autres voitures. En 1853, Loubat vint à Paris et construisit le tramway de la place de la Concorde à Sèvres, lequel demeura longtemps comme une curiosité que personne ne songea à imiter. Les tramways firent leur première apparition à Londres en 1860. Paris ne construisit son réseau actuel qu'à partir de 1874, alors que toutes les grandes villes des États-Unis et de l'Angleterre possédaient déjà des tramways.

Les tramways ont largement contribué à la dépopulation du centre des villes au profit des faubourgs ; chacun cherche aujourd'hui à se rapprocher de la campagne pour respirer un air plus pur et posséder un petit jardin. Les villes ont donc une tendance à accroître considérablement leur superficie et à devenir plus saines, la disparition des grandes agglomérations étant la première condition d'une bonne hygiène.

La traction des tramways par la vapeur a peu réussi jusqu'ici, car le bruit des machines effraye les chevaux et la fumée salit les édifices. En 1890, on a établi un funiculaire à Belleville ; les voitures sont mises en mouvement par des câbles sans fin qui se meuvent dans des tubes souterrains et qui sont actionnés par une machine fixe. Ce système, peu économique pour de grandes distances, devient excellent dans le cas des pentes très fortes.

Le problème de la traction par la vapeur semble complètement résolu, grâce à la chaudière Serpollet. Une première ligne fonctionne actuellement à Paris, de la Madeleine à la place de Clichy ; on est parvenu à supprimer complètement le bruit et la fumée. La fumée a disparu par l'emploi du coke comme matière combustible. La chaudière, en acier, capable de développer une force de vingt chevaux, se compose de dix-huit tubes

de 45 centimètres de longueur, en forme d'U, reliés en série. La pression de la vapeur est considérable, car on peut chauffer les tubes à 300 degrés.

La traction par l'air comprimé commence aussi à se répandre. Elle a débuté à Nantes, puis a été appliquée à Paris sur la ligne de Vincennes à Ville-Évrard. L'air, comprimé dans des usines, est emmagasiné dans des cylindres situés sous les voitures, pour actionner un moteur spécial. Mac-Mahon, à Chicago (États-Unis), a tenté de remplacer l'air comprimé par la vapeur du gaz ammoniac liquéfié, allant se dissoudre dans l'eau après son action sur le piston du moteur.

La traction électrique fait partout de grands progrès, spécialement aux États-Unis. Le premier tramway électrique fut construit par Siemens et Halske ; il fonctionna en 1879 à l'Exposition d'électricité de Berlin et réapparut en 1881 à celle de Paris, depuis la place de la Concorde jusqu'au palais de l'Industrie, aux Champs-Élysées. Pendant cette même année, 1881, Siemens et Halske installèrent à Lichterfeld, en Allemagne, le premier tramway électrique qui fonctionna régulièrement.

Cette tentative n'eut aucun écho en Europe, mais il n'en fut pas de même aux États-Unis, où les tramways électriques se développèrent avec une rapidité extraordinaire. En 1887, on ne comptait encore que sept tramways électriques dans ce pays; il y en avait trente-deux en 1888, cent quatre en 1889 et quatre cent trente-six en 1892. Quel accroissement prodigieux!

Deux systèmes restent en présence : on se sert d'accumulateurs qu'on charge dans des usines et qu'on transporte dans les voitures où ils actionnent des moteurs dynamos, ou bien on établit des conducteurs électriques le long de la voie et l'usine transmet le courant dans ces conducteurs, d'où il arrive à la voiture par divers systèmes de contact.

L'emploi des accumulateurs est mauvais, car la voiture doit emporter avec elle un poids trop considérable ; de plus le chargement à l'usine demande des manipulations assez peu commodes. Ce système, déjà condamné aux États-Unis, a cependant été adopté à Paris en 1892 sur la ligne de la Madeleine à Saint-Denis.

L'emploi des conducteurs est de beaucoup préférable, à la condition de les isoler suffisamment de manière à mettre le public et les chevaux à l'abri de commotions électriques parfois mortelles. Les conducteurs aériens ou souterrains doivent donc être préférés au système consistant à se servir des rails eux-mêmes pour conduire le courant.

La traction électrique est la plus douce de toutes, car le mouvement rotatif du moteur dynamo ne peut pas imprimer de secousses semblables à celle des chevaux ou des moteurs à mouvements alternatifs (vapeur et air comprimé). Il n'y a ni feu, ni bruit, ni fumée, par conséquent rien qui puisse effrayer les chevaux ou salir les édifices. Les arrêts se font avec la plus grande facilité. L'électricité conserve aussi la supériorité au point de vue financier. Voici le tableau de la dépense par voiture et par kilomètre avec les différents systèmes :

	fr. c.
Vapeur	» 68
Chevaux	» 61
Câbles	» 39
Électricité	» 32

Ces chiffres ont été fournis par la Compagnie des tramways de Birmingham, qui utilise ces quatre procédés de traction.

Le nombre des tramways augmente rapidement ; on en trouve aujourd'hui dans toutes les grandes villes du monde. Nous nous bornerons à citer la statistique des États-Unis ; en 1890, on comptait dans ce pays 17 648 kilomètres de tramways se répartissant ainsi :

	Kilomètres.
Traction à chevaux	8.710
— électrique	4.810
— à vapeur	3.070
— funiculaire	1.058

Le nombre des voitures s'élevait à 36 517.

Vélocipèdes. — Il y a déjà bien longtemps qu'on eut l'idée de construire une machine, mue à l'aide des pieds ou des mains, destinée à transporter l'homme qui la faisait mouvoir. On trouve, dès 1693, la description d'une voiture tricycle à pédales ; le che-

val mécanique en bois pour enfants, mû à l'aide des mains, date de 1845.

L'idée vraiment originale consiste à avoir substitué le bicycle au tricycle, malgré le défaut apparent d'équilibre, équilibre d'ailleurs possible au cas où la machine est en mouvement. De Sivrac, en 1790, inventa le *célérifère*, sorte de cheval en bois à deux roues retenues dans un même plan, qu'on faisait mouvoir avec les pieds. Cette machine fut perfectionnée en Allemagne par le baron Drais de Sauerbronn, en 1816, et par divers mécaniciens en Angleterre. Nicéphore Niepce, l'inventeur de la photographie, rendit la roue de devant mobile par rapport à la roue fixe de derrière. En somme, c'était déjà le bicycle moderne, sauf les détails de construction qui l'ont rendu pratique. Les pédales étaient placées sur l'essieu de la roue de derrière. En 1855, Ernest Michaux, presque enfant, fils d'un constructeur de bicycles à Paris, mit les pédales sur l'essieu de la roue mobile de devant. Ce fut là un progrès considérable. Les frères Ollivier, également constructeurs de bicycles à Paris, inventèrent le frein, la jante à caoutchouc pour roues et se servirent de rayons à fils d'acier pour suspendre l'axe des roues. Cette dernière invention avait été déjà faite dès 1832 par Josué Heilmann, ingénieur à Mulhouse.

Le vélocipède reçut ensuite d'autres perfectionnements : le frottement à billes, qui diminua considérablement la dépense de force; l'emploi des fers creux pour restreindre le poids de l'appareil; la chaîne de Vaucanson, permettant de multiplier la vitesse; les caoutchoucs creux ou pneumatiques qui se substituèrent aux caoutchoucs pleins. Bref, le bicycle, déjà arrivé à sa forme actuelle dès 1878, fut remplacé par la *bicyclette* en 1886. Quant au tricycle, il reçut de notables perfectionnements et devint pratique dès 1881.

M. Romanès, en 1890, a inventé un tricycle aquatique, capable de fonctionner sur l'eau et sur la terre. Les roues sont des lentilles biconvexes en tôle, creuses, et formant flotteurs. Elles portent des ailettes sur les côtés, ce qui les transforme en roues à aubes. Ce tricycle peut parcourir 4 kilomètres à l'heure

sur une mer tranquille. Des essais ont été faits à Marseille.

Le vélocipède sera un jour mû par la vapeur et l'électricité, mais il se transformera en une véritable voiture et perdra son but, celui d'être un moteur actionné par l'énergie de l'homme qui le monte. Il a été déjà fait des essais de traction de tricycle avec la chaudière Serpollet.

A la France revient l'honneur d'avoir construit les premiers vélocipèdes, mais ce sont les mécaniciens de l'Angleterre et ceux des États-Unis qui ont créé l'outillage actuel et fondé de vastes usines. Dès 1882, on comptait en Angleterre 140 fabriques de bicycles et de tricycles, situées surtout à Londres, Coventry, Birmingham et Wolverhampton. En 1893, l'Angleterre a fabriqué 130000 machines. Coventry possédait 15000 ouvriers uniquement employés à cette fabrication. La France tâche de regagner le temps perdu ; de grands ateliers se sont fondés à Paris, Lyon, Bordeaux, Nantes, etc. L'usine Decauville, à Petit-Bourg, près de Corbeil, vient aussi d'entreprendre cette fabrication dans de vastes proportions.

II. — LOCOMOTION AQUATIQUE.

Historique. — L'homme navigua d'abord comme les sauvages actuels, sur des troncs d'arbres creusés par le moyen du feu ou avec des outils tranchants. Il se servit également d'outres gonflées d'air, reliées à des planches de bois formant radeau.

Les Égyptiens semblent avoir construit les premiers navires dignes de ce nom ; Sésostris, dix-sept siècles avant l'ère chrétienne, alla conquérir l'Inde avec des bateaux montés par cinq rameurs. Sept siècles avant Jésus-Christ, il existait déjà des trirèmes ou bâtiments à trois rangs de rameurs. Puis les progrès se firent de plus en plus rapides ; on développa énormément la voilure, les rames furent supprimées et le vent devint exclusivement la force motrice. Les dimensions gigantesques prises par les navires empêchaient d'ailleurs d'utiliser la force musculaire de l'homme. Les Anglais perfectionnèrent considérablement les navires à voiles dans le XVIIe siècle et leur don-

nèrent à peu près les formes qui subsistent encore actuellement.

Les premiers essais de la navigation à la vapeur datent de l'origine même de la machine à vapeur. Papin, dès 1707, installa sur un bateau la machine qu'il venait d'inventer, mais elle fut mise en pièces par des bateliers ignorants. Cette hâte d'appliquer la machine à vapeur à la navigation s'explique par les immenses avantages que l'on pouvait déjà prévoir : accroissement de vitesse et surtout possibilité d'échapper aux caprices du vent.

Watt eut, dit-on, l'intention de reprendre les essais de Papin, mais ses nombreuses occupations l'en empêchèrent. Perier, membre de l'Académie des sciences, après une tentative infructueuse sur la Seine, en 1775, s'associa cinq ans plus tard avec le marquis de Jouffroy et refit de nouvelles expériences sur la Saône, mais la Révolution obligea de Jouffroy à s'expatrier.

On dut dès lors aux Anglais et aux Américains les essais qui suivirent et qui aboutirent à un résultat pratique. En 1785, Bramah, le célèbre ingénieur anglais, imagina une machine rotative spécialement destinée aux navires. Il se construisit, aux États-Unis, dans les premières années du XIX[e] siècle, une multitude de bateaux à vapeur, de tous les systèmes, mais le plus célèbre fut celui de Fulton, apparu à New-York en 1807. Fulton avait fait ses premiers essais à Paris ; mais, découragé par l'indifférence et l'hostilité des Français, il était retourné dans sa patrie pour continuer ses expériences.

Les Anglais, en présence des résultats obtenus aux États-Unis, s'empressèrent de perfectionner la navigation à vapeur : en 1811, le premier bateau anglais à vapeur, *la Comète*, fut lancé sur la Clyde. En 1818, les navires à vapeur osèrent enfin affronter la mer.

Les premiers bateaux à vapeur étaient à roues. Les Romains se servaient d'ailleurs déjà de roues, mises en rotation à bras d'hommes. L'hélice entra dans la pratique vers 1837 ; elle s'est actuellement presque complètement substituée à la roue. Il y a déjà bien longtemps que l'hélice fut signalée comme propre à la propulsion des navires : Archimède en parle dans ses ouvrages.

Les premières tentatives sérieuses pour utiliser l'hélice datent de la fin du XVIIIe siècle ; en 1793, Littleton, à Londres, fit des essais de propulsiou d'un navire avec une hélice, mais ils ne réussirent pas. Le problème ne fut résolu pratiquement qu'en 1837, par l'Anglais Smith et le Suédois Ericsson. Smith donna à l'hélice sa forme actuelle qui lui fut indiquée par un accident : l'hélice s'étant brisée, Smith s'aperçut avec stupéfaction que son navire marchait beaucoup mieux, ce qui l'amena à utiliser une fraction de spire. Il est juste de mentionner aussi les essais tentés en France par le général Meusnier, à la fin du XVIIIe siècle, et ceux de Sauvage, en 1827.

L'emploi des hélices jumelles se répand de plus en plus ; elles permettent d'évoluer dans un petit espace, condition surtout précieuse pour les navires de guerre. On peut en outre parer à tout accident survenu à l'une des deux hélices. Les *transatlantiques* sont munis de deux hélices jumelles.

Le nombre des navires à voiles va sans cesse en diminuant, tandis que celui des navires à vapeur augmente d'année en année. D'abord réservés au transport des voyageurs, les bateaux à vapeur servent maintenant au transport des marchandises les plus communes.

Les progrès de la navigation à vapeur ont été surtout sensibles depuis le milieu du XIXe siècle, grâce à l'emploi de navires de plus en plus gigantesques et de machines de plus en plus puissantes. La première ligne transatlantique date de 1816 ; les navires, alors à voiles, mettaient vingt-trois jours pour aller de New-York à Liverpool, et quarante jours pour le retour. Cette différence s'explique par la direction des vents et du courant le Gulf-Stream, direction allant de l'ouest à l'est sur l'Atlantique.

En 1850, malgré les progrès accomplis en développant la voilure, la traversée durait encore quinze jours à l'aller.

On avait déjà essayé, dès 1819, de traverser l'Atlantique avec un navire à vapeur, mais la chose avait été reconnue impraticable. En 1838, on construisit le premier steamer, le *Great Western*, qui fit un service régulier entre l'Angleterre et les

États-Unis ; ce steamer, de 65 mètres de longueur, de 440 chevaux de force, consommait 32 000 kilos de houille par jour et la durée de sa traversée était de seize jours, à peine supérieure à celle des bateaux à voiles. On voulut accroître la vitesse, ce qui exigeait une plus grande force, plus de houille et par conséquent des navires plus vastes. Le *Great Britain* eut une force de 1000 chevaux; le *Great Eastern*, le géant de la navigation, atteignit la longueur de 210 mètres. C'était aller trop vite et il fallut pour le moment renoncer à ces monstres; on ramena les navires à des dimensions plus en rapport avec la force des machines. On revient aujourd'hui à ces navires gigantesques : la *Touraine* et le *Teutonic*, les nouveaux transatlantiques, ont respectivement 160 et 177 mètres de longueur. Les dimensions du *Great Eastern* seront probablement atteintes dans les premières années du xx[e] siècle. La vitesse, devenue considérable, atteint environ 40 kilomètres à l'heure, avec une dépense de charbon très diminuée (300 à 400 tonnes par jour); la durée de la traversée se réduit à cinq jours et demi. La navigation offre autant de sécurité que les voyages en chemin de fer; on passe son temps très agréablement sur de véritables palais flottants, entouré de distractions et avec le confort le plus raffiné. Un seul navire transporte jusqu'à 1000 passagers.

La France est restée très longtemps en retard sur l'Angleterre ; la première Compagnie transatlantique (*Compagnie générale Transatlantique*) ne fut fondée qu'en 1862.

Progrès modernes de la navigation. — Les navires, dans le but d'accroître la vitesse, ont progressivement augmenté de longueur par rapport à leur dimension transversale. Le rapport, de 6 au début, s'éleva jusqu'à 9 pour les transports rapides. Cet énorme accroissement de longueur, qui fait ressembler les navires à des fuseaux, exige une construction très solide et cependant très légère ; on y parvient au moyen de charpentes multipliées, de renforts de toutes sortes et par l'emploi de l'acier se substituant au bois. Dès 1862, l'acier remplaça complètement le bois dans les navires des grandes Compagnies de navigation. Le bois est réservé pour les navires ordinaires, en

Suède, en Norvège, en Hollande, en France, en Italie, pays possédant encore des bois excellents.

Par le cloisonnement, qui donne des compartiments étanches, on évite les accidents par les voies d'eau ou les incendies. Ces cloisonnements ont été multipliés : on en compte treize dans la *Touraine*. On passe d'un compartiment dans l'autre, soit par des portes à double battant qui se ferment automatiquement en cas de danger, soit en enjambant les cloisons par le haut au moyen d'ascenseurs. Ce dernier système est plus sûr, mais plus incommode pour les passagers.

La voilure a été complètement supprimée pour les transports rapides ; elle devient inutile, la vitesse du navire étant presque toujours supérieure à celle du vent. Les mâts servent uniquement à l'établissement des signaux. Il y a deux machines à vapeur et deux hélices, de façon à parer à tout accident.

Les carènes sont mieux protégées contre l'action corrosive de l'eau de mer et contre l'adhérence des mollusques et des végétaux qui ont pour effet d'augmenter la résistance et par suite de diminuer la vitesse. Les navires en bois sont protégés par un revêtement en cuivre ou en zinc : ces métaux se dissolvent peu à peu à leur surface sous la forme de chlorures et l'adhérence des corps étrangers devient impossible. La protection du fer et de l'acier par le cuivre exige des précautions spéciales, le fer s'altérant très vite par le cuivre au contact de l'eau de mer. On cuivre le fer par la galvanoplastie, mais il faut craindre les déchirures qui mettent à nu la surface de contact. On a proposé d'interposer une lame de caoutchouc entre le fer et le cuivre. Le procédé le plus employé consiste à doubler le fer avec du bois, puis le bois avec du cuivre.

Les cordages en chanvre ont été remplacés par des cordages en acier, d'une valeur moindre et d'une durée beaucoup plus grande, surtout quand ils sont zingués. Ces cordages en acier furent d'abord fabriqués, en France, à Angers, à la Compagnie des Ardoisières et à l'usine Besnard et Genest, aujourd'hui Bessonneau. Le Havre se livra ensuite à la même fabrication.

Les Anglais remplacèrent les mâts en bois de sapin par des mâts en tôle de fer et d'acier.

Signalons enfin toute une série de petites machines fonctionnant au moyen de la vapeur pour les différentes manœuvres du navire : cabestans, guindaux pour chaînes et câbles à ancres, grues de chargement, etc.

Les bateaux de plaisance et les yachts ont pris un développement considérable, notamment en Angleterre et aux États-Unis. Le premier canot à vapeur a été construit dans les ateliers Mazeline pour le prince Napoléon. Ces petits navires sont en tôle d'acier, avec chaudières Belleville ; leur aménagement intérieur est très confortable et même luxueux. On compte plus de 2000 yachts de plaisance en Angleterre ; en France, le Yacht Club compte 237 yachts faisant flotter son guidon.

La marine fluviale a fait peu de progrès, en comparaison des navires de mer.

Il a fallu creuser des canaux gigantesques pour traverser les isthmes et diminuer les distances. Le plus célèbre de ces canaux est celui de Suez, de 160 kilomètres de longueur, allant de Port-Saïd, sur la Méditerranée, à Suez sur la mer Rouge. Le canal de Suez, creusé dans le sable, a été excavé au moyen de dragues. Le creusement dans des terrains durs présente de grandes difficultés ; les travaux du canal de Panama durent être arrêtés pour cette cause.

On a également cherché à améliorer la traction des bateaux dans les canaux ordinaires, traction opérée généralement par des chevaux et qu'on voudrait rendre mécanique. Il a été fait des essais de traction mécanique, au moyen de câbles actionnés par une machine à vapeur, sur le canal de Charenton à Joinville, près de Paris. Toutes les tentatives semblables ont peu réussi.

Les ports ont été agrandis, approfondis et rendus plus sûrs, grâce à la construction de digues et de môles. On a utilisé des blocs artificiels en béton là où manquait la pierre. Les écluses, les bassins de radoub, les cales, les docks flottants, ont été considérablement agrandis à mesure que les navires devenaient eux-mêmes plus gigantesques.

Les scaphandres, destinés aux travaux sous-marins et aux recherches en eau profonde, ont reçu d'importantes améliorations. Le scaphandre, inventé en 1797 par Klingert, de Breslau, fut rendu pratique en 1829, par Siebes, de Londres, et par Cabirol, en France. Il fut perfectionné ensuite, en France, par Rouquayrol et par Denayrouse.

Les passes des ports ont été désensablées au moyen d'un courant violent d'eau, emmagasinée au moment des hautes marées dans des réservoirs, puis relâchée à la basse mer. On a fait sauter à la dynamite les roches obstruant l'entrée des ports et même des écueils situés en pleine mer.

On a établi sur les quais de puissantes machines élévatoires, mues par la vapeur ou l'eau comprimée, pour le déchargement rapide des navires ou l'embarquement des marchandises.

Les signaux ont été partout multipliés. Nous avons déjà parlé des phares. En 1845, on imagina en Angleterre les feux flottants pour signaler en pleine mer les écueils où l'installation d'un phare était impossible. Les feux flottants sont des navires, d'une solidité à toute épreuve, retenus par des ancres et portant des feux à l'extrémité de mâts disposés *ad hoc*. Le premier feu flottant fut établi en France, dès 1845, à l'embouchure de la Gironde sur le banc de Tallais. On doit encore à l'Angleterre l'invention des sirènes, trompettes puissantes qui fonctionnent à l'aide de machines à vapeur ou d'un manège à chevaux dans le voisinage des points dangereux de la côte. La portée du son de la sirène s'étend jusqu'à cinq milles marins dans les temps calmes. On fait également usage, dans le même but, de cloches d'alarme et de sifflets.

Les écueils se signalent par des bouées, munies de cloches que le mouvement des vagues met en branle, ou de miroirs qui réfléchissent au loin les rayons du soleil. Les écueils eux-mêmes ont été munis d'échelles, d'anneaux de sauvetage et de balustrades où les naufragés trouvent un appui pour lutter contre la violence du vent et des vagues.

Le matériel de sauvetage a reçu des améliorations considérables. On est loin aujourd'hui, du moins dans les pays civilisés,

du temps où les habitants du littoral, promenant des fanaux mouvants pour tromper les navigateurs, égorgeaient les malheureux naufragés et se partageaient leurs dépouilles. En 1789, les habitants de South Shields, en Angleterre, fondèrent la première société de sauvetage ayant existé. Des sociétés semblables s'établirent ensuite un peu partout; elles se réunirent ensemble en 1852 sous le nom de *Life Boats* et constituèrent une institution royale. La Hollande imita l'Angleterre, puis ce fut le tour de la France où la *Société centrale de sauvetage* fut fondée en 1864. Cette société française compte 65 stations principales, avec des annexes dans 415 petits ports.

Les appareils principaux de sauvetage comportent des bateaux insubmersibles, montés sur chariots et toujours prêts à prendre la mer, des porte-amarres qui lancent des cordes de 450 mètres de longueur à l'aide de canons ou de fusées volantes, enfin des ceintures spéciales pour sauvetage. Launay de Razilly, en France, construisit le premier, dès 1610, des bateaux insubmersibles contenant des caisses à air. Lukin, vers 1785, en Angleterre, rendit ces bateaux véritablement pratiques.

Les appareils de sauvetage en pleine mer n'existent pour ainsi dire pas encore; on en est réduit aux canots et aux ceintures, moyens bien insuffisants. Il y a donc de belles recherches à faire de ce côté.

Statistique. — En 1890, on estimait à 43 514 le nombre total des navires existant sur le globe, se décomposant ainsi :

Navires à voiles	33.876	déplaçant	10.540.000 tonnes.
Navires à vapeur	9.638	—	12.825.000 —

Voici le nombre des navires à vapeur en service chez les principales nations :

Angleterre	5.312	Danemark	197
Norvège et Suède	774	Hollande	164
Allemagne	689	Japon	147
France	471	Brésil	129
États-Unis	419	Autriche	111
Espagne	350	Grèce	68
Russie	230	Belgique	55
Italie	200	Portugal	41

On voit combien la puissance maritime de l'Angleterre l'emporte sur celle des autres nations. La France, malgré l'étendue de ses côtes, est rangée bien après la Suède, la Norvège et l'Allemagne. Les voiliers ont presque totalement disparu en Angleterre. Le tonnage des navires anglais atteint le chiffre formidable de 9 668 000 tonnes, alors que celui des autres nations réunies n'est que de 7 800 000 tonnes, dont 2 600 000 pour l'Europe continentale.

L'accroissement du nombre des navires français a suivi une marche fort peu rapide. Le trafic par navires, en France, se fait surtout à l'aide de bâtiments étrangers, fait infiniment regrettable.

TABLEAU DU MOUVEMENT DES PRINCIPAUX PORTS FRANÇAIS (1891).

Marseille	7.446.000 tonnes
Le Havre	3.800.000 —
Bordeaux	2.000.000 —
Dunkerque	plus de 1 million de tonnes.
Boulogne	
Calais	
Rouen	
Cette	
Saint-Nazaire	moins de 1 million de tonnes.
Dieppe	
Bayonne	
Nantes	
Nice	

Il existe en France d'importants chantiers pour la construction des grands navires transatlantiques et autres. Citons la *Société des Ateliers et Chantiers de la Loire*, qui possède des établissements au Havre, à Saint-Denis près Paris et à Saint-Nazaire. Cette Société, fondée en 1881, exécute des travaux métalliques de toute nature, depuis les cuirassés, les torpilleurs, les navires de commerce, jusqu'à des machines à vapeur, des canons, etc. Les grands transatlantiques se font plus spécialement à Saint-Nazaire. La vue de ces monstres gigantesques qui s'édifient peu à peu dans les airs, emprisonnés au milieu d'un fouillis inextricable de charpentes de bois, constitue un spectacle vraiment merveilleux. Citons encore la *Compagnie des Chantiers et Ateliers de l'Océan* (Bordeaux, le Havre), la *Compa-*

gnie des Forges et Chantiers de la Méditerranée (La Seyne, près Toulon). Le Creusot fabrique aussi des machines à vapeur pour navires.

Les grands ports de l'Europe se relient entre eux et à ceux des autres parties du monde par une trentaine de lignes distinctes, c'est-à-dire par des services réguliers de bateaux, partant à des jours fixes et parcourant des itinéraires également fixes. Les principaux ports de départ sont : Londres, Liverpool et Glasgow pour l'Angleterre ; Marseille, Bordeaux, Saint-Nazaire et le Havre pour la France ; Brême et Hambourg pour l'Allemagne ; Anvers, Copenhague, Palerme, Trieste, etc.

Les plus grandes compagnies du monde sont le *Lloyd* de l'Allemagne du Nord, la *British India*, les *Messageries maritimes*, la *Peninsular and Oriental*, la *Compagnie générale Transatlantique*, *Florio Rubattino*, *Wilson Line*, *Hamburg American*, *Allan Line* et le *Lloyd* autrichien. Ces Compagnies sont classées par ordre de tonnage.

Certaines de ces Compagnies possèdent des navires véritablement monstrueux. En 1886, la Compagnie française Transatlantique mit sur chantier la *Champagne* et la *Bretagne*, navires de 155 mètres de longueur, de $15^{m}, 75$ de largeur au maître-couple, déplaçant 10 000 tonneaux et ayant des machines développant 8000 chevaux; elle fit ensuite construire la *Bourgogne* et la *Gascogne* sur les mêmes plans. Le coût des quatre navires fut de 32 millions. Ces géants de la navigation sortirent des chantiers de Saint-Nazaire et de la Seyne. On alla du Havre à New-York en sept jours et demi. La même Compagnie lança plus tard la *Touraine*, de 163 mètres de longueur, entièrement fabriquée en acier doux, pouvant porter 1349 passagers, dont 300 employés à bord.

L'Angleterre ne voulut pas rester inférieure à la France. Elle lança successivement les navires *City of Paris* et *City of New York*, ayant une longueur de 170 mètres, une largeur de 19 mètres, avec des machines de 9000 chevaux et faisant la traversée de l'Atlantique en six jours. Ce n'était pas encore suffisant : vinrent ensuite le *Majestic* et le *Teutonia*, de 175 mètres de longueur,

puis la *Campania* et la *Lucania*, monstres de 190 mètres de longueur, ayant chacun des machines de 15 000 chevaux et fournissant une vitesse de 43 kilomètres par heure. Chacun de ces navires déplace 13000 tonneaux et emporte 2400 passagers, dont 415 personnes d'équipage et de service. On y compte 105 garçons de salle et 45 cuisiniers.

En Allemagne, la *Compagnie Hambourgeoise* a également construit la *Normannia*, de la force de 14 000 chevaux.

Nous avons tenu à citer ces chiffres si curieux et si instructifs, qui montrent à quel point la lutte est aujourd'hui engagée entre les grandes puissances maritimes.

Bateaux sous-marins. — On a cherché depuis quelques années à construire des bateaux sous-marins. La navigation sous-marine aurait l'immense avantage de mettre les navires à l'abri des tempêtes, car l'eau des mers n'est plus agitée à quelques mètres de profondeur. Hâtons-nous d'ajouter que le problème de la navigation sous-marine n'est pas encore résolu pratiquement; on n'est pas sorti de la période des essais.

Aux États-Unis, on a récemment construit des bateaux à dos de baleine qui naviguent dans les lacs supérieurs. Ces bateaux percent les vagues et atteignent une vitesse considérable. C'est déjà là un acheminement vers la navigation sous-marine.

Le premier bateau sous-marin fut construit en Angleterre, sous le règne de Jacques Ier, par un Hollandais, du nom de Drebbel. D'autres essais plus sérieux furent ensuite tentés aux États-Unis, à propos de la guerre de l'Indépendance; en 1801, Fulton construisit en France le *Nautilus*, qui marchait avec des avirons, et qui resta quatre heures sous l'eau en rade de Brest. En 1823, Montgomery imagina un moteur à poudre pour faire manœuvrer l'*Invisible*; en 1866, Bourgeois et Brun construisirent le *Plongeur*, dont la machine était à air comprimé. Enfin, dans ces derniers temps, signalons les nouvelles tentatives faites en Angleterre par Wadington et Nordenfelt, en Italie par Bolsamello, en France par Zédé et Goubet. Les moteurs sont l'électricité ou des machines à vapeur. Mais, nous le répétons, il ne faut encore voir là que des tentatives.

III. — LOCOMOTION AÉRIENNE.

Les efforts faits par l'homme pour naviguer dans l'air sont déjà très anciens. La locomotion aérienne semble de prime abord pouvoir se réaliser facilement. Nous voyons partout autour de nous des animaux qui volent, depuis les gros oiseaux de proie jusqu'aux insectes les plus infimes. Il n'y a donc, semble-t-il, qu'à imiter la nature et à construire des ailes artificielles pour voler comme les oiseaux. Cette idée apparaît si simple qu'elle fut tentée dès les temps les plus reculés. La fable raconte que Dédale, roi de Crète, voulant fuir la captivité de son vainqueur Minos, s'envola avec son fils Icare au-dessus des flots ; Dédale réussit à gagner la terre, mais Icare s'étant trop approché du soleil et la cire qui fixait ses ailes ayant fondu, le jeune téméraire fut précipité dans les flots et se noya. Nous rappelons cette fable dans le seul but de montrer qu'il a dû être fait, dès la plus haute antiquité, des tentatives pour voler avec l'aide d'ailes artificielles. Aulu-Gelle, dans ses *Nuits attiques*, raconte aussi la légende de la colombe volante d'Archytas. Une légende beaucoup plus récente, datant du XIVe siècle, affirme qu'un individu aurait franchi le lac Trasimène avec des ailes.

Le problème de voler avec des ailes ne semble pas d'ailleurs impossible : la chauve-souris, qui n'est pas un oiseau, mais un mammifère comme l'homme, montre une réalisation parfaitement pratique du problème. Plusieurs inventeurs ont donc imaginé des appareils volants, copiés sur les organes de la chauve-souris. Citons Léonard de Vinci, qui s'est borné à dessiner certaines machines sans les construire ; Blanchard, dont les expériences furent arrêtées par la découverte des ballons ; Deghen, qui, en 1812, équilibra son poids avec un ballon d'hydrogène et qui était muni d'ailes ; M. Otto Lilienthal (de Berlin), dont les expériences datent de 1893. M. Lilienthal, assis sur une machine munie de deux ailes d'une surface totale de 15 mètres carrés et de deux gouvernails, est parvenu à descendre dans l'air d'une hauteur de 80 mètres sans accident. On est encore

loin de pouvoir s'envoler avec ces appareils. Tous les inventeurs qui ont voulu s'élancer hors d'un ballon avec des ailes ont trouvé la mort en tombant lourdement sur le sol.

Les ailes ne donnant pas des résultats satisfaisants, on a cherché à les remplacer par des hélices. L'*hélicoptère* est un jouet d'enfant qui consiste en une hélice à axe vertical, qu'un caoutchouc met en rotation rapide : l'hélice s'élève dans l'air tant que la vitesse de rotation est suffisante. Pour réaliser cet appareil en grand, il faudrait découvrir un moteur ne pesant que 1500 grammes par cheval de force ; or pareil moteur n'existe pas encore.

On a donc dirigé les recherches d'un autre côté, vers les *aéroplanes*, dont le cerf-volant et le parachute représentent les types les plus primitifs. Les aéroplanes sont destinés à planer dans l'air à l'imitation des oiseaux de proie ; ils recevront leur impulsion première par un mouvement très rapide exécuté sur une ligne ferrée, puis devront s'élever dans l'air et planer. Le calcul montre qu'il suffira ensuite, le mouvement de translation une fois donné, d'une force assez faible pour continuer le mouvement et se maintenir dans l'air. On espère obtenir avec les aéroplanes une vitesse de 150 à 200 kilomètres à l'heure.

On remarquera que nous avons parlé au futur, car tout ceci n'existe encore que dans l'esprit des calculateurs ; reste à connaître le résultat de l'expérience. Il faut se défier beaucoup du calcul dans ces questions d'aviation.

Nous venons d'exposer les procédés dits du *plus lourd que l'air*, que certaines personnes prétendent devoir être ceux de l'avenir. Nous allons maintenant faire l'historique du *moins lourd que l'air*, c'est-à-dire des ballons.

Il faut l'avouer, le ballon n'a pas été utilisé par la nature pour la locomotion aérienne. Ce n'est pas cependant une raison pour le repousser *à priori*, car la nature n'a pas utilisé les roues pour la marche des animaux, et cependant les roues ont produit des résultats excellents pour la locomotion terrestre.

Le principe des ballons est connu depuis longtemps : un corps, plongé dans l'air, s'élève quand son poids reste inférieur à celui

de l'air déplacé. Le jésuite Lana, en 1670, fit le vide dans une boule de cuivre très légère, espérant la voir s'élever. L'expérience ne réussit pas, le cuivre étant un métal trop lourd. Black (d'Édimbourg), qui connaissait l'expérience classique des bulles de savon gonflées avec de l'hydrogène, émit l'idée de gonfler un ballon avec ce gaz si léger ; l'expérience fut tentée en 1782 par Cavallo, mais elle ne réussit pas à cause de l'emploi d'une enveloppe trop lourde. L'année suivante, en 1783, les frères Montgolfier parvinrent enfin à enlever un ballon de papier gonflé avec de l'air chauffé au moyen de la lampe à huile, nouvellement découverte par d'Argand. Le 21 novembre, Pilastre de Rozier et d'Arlandes osèrent s'élever dans l'air avec cette frêle machine. Le 1er décembre, Charles et Robert firent une ascension aux Tuileries en utilisant le premier ballon gonflé à l'hydrogène.

En 1797, Jacques Garnerin se précipita en dehors de son ballon avec un parachute et arriva sur le sol sans accident. Le parachute représente donc l'instrument de sauvetage tout désigné pour les futurs voyageurs aériens.

Les ballons ont été perfectionnés, principalement par les Français. Charles a imaginé le filet pour supporter la nacelle, la soupape supérieure pour le dégagement de l'hydrogène. On a fabriqué une étoffe absolument imperméable à l'hydrogène, ce qui permet actuellement de gonfler les ballons avec ce gaz à l'état pur. On devait employer jadis le gaz d'éclairage qui se perdait moins vite, mais dont la force ascensionnelle était très inférieure à celle de l'hydrogène ; il faut, en effet, un mètre cube d'hydrogène pour soulever un kilo, tandis qu'un mètre cube de gaz d'éclairage ne soulève que 500 grammes. On a imaginé des appareils spéciaux pour préparer l'hydrogène, soit avec du fer et de l'acide sulfurique, soit par le procédé Henri Giffard, en décomposant la vapeur d'eau avec du fer chauffé au rouge, ce fer étant obtenu par la réduction de l'oxyde de fer naturel au moyen de l'oxyde de carbone. Grâce à l'emploi de l'hydrogène, on peut s'élever à de très grandes hauteurs. Le 15 avril 1875, le ballon le *Zénith*, monté par Sivel, Crocé-Spinelli et

Gaston Tissandier, partit à onze heures du matin de l'usine à gaz de la Villette. Il s'éleva à la hauteur de 8600 mètres et retomba à terre près de Saint-Yrieix (Haute-Vienne) le même jour à quatre heures du soir. M. Gaston Tissandier seul était encore vivant, ses deux compagnons avaient été asphyxiés par suite de la raréfaction de l'oxygène de l'air à cette altitude considérable.

L'industrie fabrique trois sortes d'aérostats; les aérostats à grands volumes, de 200 à 3000 mètres cubes, pour les ascensions scientifiques ou d'amateurs ; les petits ballons en baudruche, représentant des personnages et des animaux grotesques, pour jouets d'enfant ou fêtes publiques ; des ballons en caoutchouc pour enfants et pour réclames. La baudruche est la doublure du gros intestin du bœuf; pour fabriquer un ballon en baudruche, on étend la mince enveloppe humide sur un moule en carton, puis on laisse sécher.

On construit aussi de petits ballons pour la météorologie. Ces ballons emportent avec eux des instruments enregistreurs, fabriqués spécialement par la maison Richard. On peut ainsi connaître l'état de l'atmosphère dans les régions élevées.

Direction des ballons. — La direction des ballons fut tentée très peu de temps après leur découverte. Dès 1784, un an après l'invention des frères Montgolfier, Guyton de Morveau et l'abbé Bertrand essayèrent, à Dijon, de diriger un ballon au moyen de rames légères. Blanchard, au Champ de Mars, à Paris, tenta la même expérience en ajoutant un gouvernail, mais un soldat ivre coupa les rames à coups de sabre. Les frères Robert, toujours dans cette même année, substituèrent un ballon allongé au ballon sphérique pour donner moins de prise au vent. Des tentatives semblables eurent lieu à cette époque en Angleterre, mais sans succès. Le ballon se trouve en effet dans des conditions ne ressemblant plus à celles d'un bateau dans l'eau; il faut qu'il dispose d'une force considérable pour lui permettre de lutter contre le vent. Ces premiers essais ne restèrent cependant pas stériles, car ils furent l'occasion de perfectionnements très importants : on doit notamment au général Meusnier l'emploi

de l'hélice comme propulseur pour remplacer les rames ou les ailes, ainsi que l'emploi d'une poche intérieure au ballon ; cette poche, que l'on gonfle ou que l'on dégonfle à volonté au moyen d'une pompe, joue le rôle de la vessie natatoire du poisson, pour monter ou pour descendre.

Il faut arriver à une époque beaucoup plus récente pour voir le problème de la direction des ballons repris avec de plus grandes chances de succès. Le 24 septembre 1852, un jeune homme de vingt-six ans, qui devait devenir un ingénieur distingué, Henri Giffard, s'éleva à Paris avec un ballon muni d'une machine à vapeur et d'une hélice. Les résultats obtenus furent très médiocres, mais le ballon put cependant résister un peu au vent. Une seconde expérience, tentée en 1855, donna de meilleurs résultats. Dupuy de Lôme, en 1872, répéta les essais de Giffard, non plus avec une machine à vapeur, mais avec une hélice actionnée par sept hommes.

M. Gaston Tissandier, en 1883, utilisa le premier l'électricité comme force motrice. L'hélice était mise en rotation par une dynamo et l'électricité fournie par des piles. Le 9 août 1884, MM. Renard et Krebs purent partir du parc aérostatique militaire de Meudon, et revenir atterrir à leur point de départ, après avoir parcouru en vingt minutes une distance de huit kilomètres. Le moteur, encore une dynamo, avait une force de 8 chevaux. Les piles, de l'invention de M. Renard, étaient d'un poids très faible et d'une grande puissance. Il convient d'ajouter que l'air était calme.

Voilà où nous en sommes aujourd'hui. C'est peu, il faut l'avouer, et le problème de la navigation aérienne est encore loin d'être résolu. Il le sera, on peut l'affirmer, mais il faut trouver des moteurs très puissants tout en ne représentant qu'un poids très faible.

CHAPITRE VI

ARMES.

I. — MATIÈRES EXPLOSIVES.

Poudres exothermiques. — On appelle *poudres exothermiques* des mélanges de différentes substances, capables de dégager par leur combustion une énorme quantité de chaleur et de gaz. Ces gaz possèdent une force élastique considérable et brisent ou déplacent les parois qui les renferment.

Les peuples orientaux faisaient usage depuis une très haute antiquité des matières incendiaires et de la poudre ordinaire, composée de salpêtre, de soufre et de charbon. Vers le VIIe siècle, l'Europe connut ces matières incendiaires, qu'on désigna sous le nom de *feu grégeois*; c'était un mélange de suif, d'essence de térébenthine, de colophane, de soufre, de salpêtre, d'antimoine. La poudre ne fut connue que beaucoup plus tard en Europe, vers le XIVe siècle et l'on eut immédiatement l'idée de l'utiliser pour lancer des projectiles.

La poudre ordinaire se prépara au début avec un mélange grossier de salpêtre, de soufre et de charbon; son inflammation était lente et ses effets balistiques presque nuls. Au XVIe siècle, en Italie, on la perfectionna par une pulvérisation très fine des éléments, par leur mélange intime et une granulation facilitant la combustion. Ce mode de fabrication fut introduit en France, vers 1754, à la poudrerie d'Essonnes, sur les conseils

d'un moine, le Père Ferry. Les matières premières, finement pulvérisées séparément dans des tonnes à billes, sont mélangées sur une table horizontale en bronze, sur laquelle roulent des meules verticales, également en bronze. Un système de grattoirs détache de la meule les plaques pouvant se former. L'atelier s'inonde instantanément en cas d'explosion.

Le mode de granulation de la poudre varie selon les usages auxquels on la destine. Les poudres de chasse et de mine se granulent plus ou moins finement. La poudre de mine est fortement comprimée pour augmenter son pouvoir explosif. MM. Mallard et Le Chatelier conseillent d'y ajouter de l'azotate d'ammoniaque pour les mines de houille ; on diminue de la sorte les chances d'inflammation du feu grisou, en abaissant la température des gaz au-dessous de 2220°, point de température nécessaire pour enflammer les gaz. Pour les canons, on comprime aussi la poudre et on la moule en gros fragments (poudre dite prismatique), ce qui rend la combustion plus longue et fatigue moins l'arme. La poudre, dite *chocolat*, fabriquée d'abord à Dünebourg, en Allemagne, doit sa teinte à l'emploi de charbon de bois imparfaitement calciné.

La poudre ordinaire de guerre pour les fusils est abandonnée depuis quelques années ; on la remplace par la poudre sans fumée, que nous étudierons plus loin.

Les matières premières employées dans la fabrication de la poudre ordinaire nécessitent un choix et une préparation appropriés. Le salpêtre doit être très pur et surtout privé de chlorure de potassium, sel très hygrométrique ; le soufre est pris à l'état de soufre en canon. Quant au charbon, on le prépare par la méthode Violette, en calcinant le bois par de la vapeur d'eau surchauffée. Le charbon devient en effet d'autant plus combustible qu'il a été préparé à une température plus basse. On se sert de divers bois, du bourdaine, du peuplier, du tilleul, de l'aune, du saule, du marronnier d'Inde, du chanvre, du lin, de la vigne, de l'if, du laurier-rose, du noisetier, du cornouiller, selon les différents pays.

Les proportions de salpêtre, de soufre et de charbon varient

chez les différents peuples et suivant la destination de la poudre. Voici celles usitées en France :

Poudre à canon....	Salpêtre	75....	Soufre	12,5....	Charbon	12,5
— de mine....	—	62....	—	18	—	20
— de chasse..	—	78....	—	10	—	12

L'azotate de soude donnant une meilleure poudre que l'azotate de potasse ou salpêtre, on a essayé de substituer le premier corps au second. Il a fallu y renoncer, car l'azotate de soude absorbe trop facilement l'humidité. Il en est de même de l'azotate d'ammoniaque.

Le chlorate de potasse produit une poudre très brisante, excellente surtout comme poudre de mine. Berthollet, qui venait de découvrir cette substance, conseilla au gouvernement de la substituer au salpêtre dans la poudre ordinaire, mais une terrible explosion se produisit, le célèbre chimiste faillit être tué et l'on abandonna un produit si dangereux à manier. Le chlorate de potasse entre cependant dans la composition de quelques poudres très brisantes : la poudre blanche d'Augendre, pour ne citer qu'un exemple, se compose de 49 parties de chlorate de potasse, 23 parties de sucre et 28 parties de prussiate jaune de potasse. On pulvérise séparément chacun des éléments et l'on mélange avec précaution, en évitant les chocs.

Fusées pour signaux ; feux d'artifice. — Les fusées pour signaux, employées à la guerre, dans la marine, etc., sont des cartouches contenant une poudre fusante, dégageant une abondante quantité de gaz qui produisent, par réaction, le mouvement ascendant de la fusée. Une baguette sert généralement à diriger cette fusée. La poudre fusante se compose de : salpêtre 45 parties, soufre 10 parties, charbon 20 parties, pulvérin 25 parties. Le pulvérin est de la poudre ordinaire pulvérisée.

La fusée met le feu, quand elle parvient au sommet de sa course, à une poudre capable de donner des couleurs éclatantes. Nous donnerons la composition des principaux feux colorés :

Rouge :

Chlorate de potasse..............................	1 partie.
Colle de poisson..................................	1 —
Azotate de strontiane...........................	3 parties.

Rouge :

Picrate d'ammoniaque	54 parties.
Azotate de strontiane	46 —

Vert :

Chlorate de potasse	1 partie.
Colle de poisson	1 —
Azotate de baryte	3 parties.

ou :

Picrate d'ammoniaque	48 parties.
Azotate de baryte	52 —

Bleu :

Sulfate de cuivre ammoniacal	3 parties.
Chlorate de potasse	1 partie.
Colle de poisson	1 —

Jaune :

Azotate de soude	3 parties.
Chlorate de potasse	1 partie.
Colle de poisson	1 —

Violet :

Carbonate de chaux	2 parties.
Malachite	2 —
Soufre	2 —
Chlorate de potasse	6 —

Pourpre :

Azotate de strontiane	14 parties.
Calomel	14 —
Chlorate de potasse	15 —
Sulfate de cuivre	1 partie.
Colle de poisson	5 parties.

On obtient des étincelles brillantes avec un mélange de pulvérin, de salpêtre, de soufre, de charbon et de limaille de fer ou de grenaille de zinc.

Le mélange suivant donne une fumée très abondante, utilisable pour cacher le mouvement des troupes :

Salpêtre	12 parties.
Soufre	3 —
Charbon	2 —
Brai sec	4 —

Les fusées *à la Congrève* sont des fusées emportant avec elles des matières incendiaires ou des engins explosifs Les Anglais en ont fabriqué au commencement du XIXe siècle et en ont fait

usage en 1806, au siège de Boulogne. Ces fusées étaient plus dangereuses pour la flotte anglaise que pour l'ennemi, car elles volaient dans toutes les directions, éclataient au départ et menaçaient d'incendier la flotte. En 1826, on imagina des fusées munies d'obus à balles, mais le résultat obtenu était insignifiant. La France, en 1870, possédait tout un matériel de fusées, capables de transporter des obus d'un poids de 60 kilogrammes à une distance de 7 kilomètres, mais on n'eut pas l'occasion d'en faire usage. Depuis lors, les fusées à la Congrève ont été abandonnées.

Les artificiers utilisent, pour la fabrication des feux d'artifice, des compositions analogues à celles dont nous avons donné les formules.

Poudres endothermiques ou explosives. — Ce sont des substances qui dégagent brusquement, par leur décomposition, une grande quantité de gaz et de chaleur, d'où leurs effets destructifs d'une violence extrême. On abandonne les poudres exothermiques et on les remplace actuellement par des substances explosives.

Fulminates. — Les *fulminates* furent découverts par Howard en 1800. Le fulminate de mercure s'obtient en dissolvant une partie de mercure dans 12 parties d'acide azotique, puis versant la dissolution refroidie dans 11 parties d'alcool marquant 90 degrés à l'alcoomètre. On chauffe le tout au bain-marie jusqu'à dégagement d'abondantes fumées blanches. Le fulminate se dépose pendant le refroidissement. On lave celui-ci à l'eau pure, puis on le dessèche à froid. Ce fulminate est très dangereux à manier et il fait explosion sous le plus léger choc. On l'utilise pour fabriquer les capsules de fusils et de revolvers, les amorces des jouets d'enfant, les cosaques, les pois fulminants, etc., en le mélangeant avec 40 p. 100 de salpêtre pour diminuer sa facilité de déflagration. On peut se servir d'argent au lieu de mercure.

Coton-poudre. — Vers 1832, Pelouze et Braconnot découvrirent que le coton, le papier, le bois, l'amidon, la gomme, devenaient très inflammables quand on les traitait par l'acide nitrique concentré. En 1846, Schœnbein obtint un coton ca-

pable de produire une action balistique et explosive considérable, en faisant agir sur lui un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique. On donna à ce coton le nom de *pyroxyle* ou *coton-poudre*. Schœnbein, qui était un esprit original, conserva d'abord sa découverte secrète pour étonner ses amis, mais il la divulgua bientôt quand d'autres chimistes furent arrivés au même résultat que lui. Il faut déduire de ce fait qu'il est actuellement inutile de cacher la composition des nouveaux explosifs, car la chimie dévoile tous les secrets quand on recourt à des méthodes d'investigation minutieuses. On raconte que Schœnbein, vêtu en paysan et coiffé d'un bonnet de coton, se mêla un jour avec des jeunes gens qui s'exerçaient au tir dans un village de Suisse. Les jeunes gens manquant un peu d'adresse, il leur fit des reproches et leur assura qu'il toucherait mieux le but qu'eux en chargeant son fusil avec son bonnet de coton. Éclat de rire général, qui se transforma bientôt en stupéfaction, quand Schœnbein réalisa son dire : son bonnet de coton avait été transformé en coton-poudre.

Le coton-poudre possède des propriétés très différentes, suivant les proportions d'acides employées. On obtient un coton très explosif en mélangeant trois volumes d'acide sulfurique concentré avec un volume d'acide azotique fumant, laissant refroidir le mélange, puis en y faisant tremper le coton pendant un quart d'heure. On lave ensuite très soigneusement à l'eau, jusqu'à cessation complète de réaction acide, puis on laisse sécher à la température ordinaire. On emploie généralement 100 grammes de coton pour un litre du mélange des acides.

Le coton-poudre pour collodion s'obtient en faisant agir sur le coton un mélange à poids égaux d'acide sulfurique concentré et de salpêtre. On le dissout ensuite dans un mélange d'alcool et d'éther. Le collodion a été découvert, aux États-Unis, en 1847, par Maynaut (de Boston). On ne put pendant longtemps utiliser le coton-poudre pour le tir des armes à feu ni même comme substance explosive dans les bombes et les torpilles, car il s'enflammait spontanément et ses effets étaient trop brisants. Abel, directeur des poudres en Angleterre, parvint à corriger ces

inconvénients en le comprimant fortement d'abord, puis en le réduisant en une sorte de pâte à papier, enfin en le mélangeant avec un peu de paraffine. Sous cette nouvelle forme, on put s'en servir pour charger les torpilles. Nous verrons plus loin comment on l'a encore modifié pour le transformer en *poudre sans fumée* dans les armes à tir.

Le coton-poudre ne possède pas la quantité d'oxygène nécessaire pour le brûler complètement. On doit le mélanger avec d'autres substances oxydantes, de l'azotate de potasse, de baryte, etc.

Dynamite. — La nitroglycérine fut découverte par l'Italien A. Sobrero, en 1847. Voici sa préparation : on mélange 150 kilos d'acide nitrique, marquant 48° à l'aréomètre Baumé, avec 300 kilos d'acide sulfurique concentré. On laisse refroidir le mélange, puis on ajoute peu à peu la glycérine, en ayant soin de ne pas dépasser la température de 30°. On laisse en contact pendant une demi-heure, puis on verse dans une cuve en plomb contenant de l'eau froide ; la nitroglycérine vient surnager sous forme d'un liquide huileux. On la lave avec de l'eau tenant en dissolution du carbonate de soude, pour neutraliser l'excès d'acide, puis avec de l'eau pure.

La nitroglycérine resta sans emploi jusqu'en 1864 ; mais, à cette époque, un ingénieur suédois, Nobel, en entreprit la fabrication en grand à Stockholm et à Hambourg, surtout comme explosif utilisé dans l'exploitation des carrières. La nitroglycérine possède en effet un pouvoir déflagrant quatre fois supérieur à celui de la poudre ordinaire; l'inflammation d'un kilo de cette substance développe dans un vase clos l'effroyable pression de 243 000 atmosphères. De plus, elle ne craint pas l'humidité et peut être utilisée en terrain aquifère, chose impossible avec la poudre ordinaire.

De terribles explosions se produisirent avec la nitroglycérine, et l'on était sur le point d'en abandonner complètement l'emploi quand, en 1866, Nobel découvrit la dynamite. Ce dernier produit n'offre plus aucun danger et possède la même puissance que la nitroglycérine. La dynamite consiste simplement en un mélange

de nitroglycérine avec une ou plusieurs autres substances. Ces substances sont inertes (silice farineuse ou *kieselguhr* d'Unterlass, en Hanovre ; randanite de Ceyssat, dans le Puy-de-Dôme, tripoli, brique pilée, sucre, laitier de forge, etc.), ou actives, c'est-à-dire capables d'agir aussi par elles-mêmes (charbon, salpêtre, soufre, nitrate de soude, nitrate d'ammoniaque, etc.). On la colore souvent en rouge avec de l'ocre. On pétrit la nitroglycérine avec ces matières, on passe au tamis et on met en cartouches.

La fabrication de la dynamite a pris un très rapide développement : en 1867, on n'en consomma que onze tonnes dans le monde entier, tandis que l'Angleterre, en 1882, en consommait à elle seule 11 000 tonnes. La gélatine explosive (mélange de nitroglycérine et de coton-poudre), meilleure que la dynamite, tend maintenant à remplacer cette dernière. Les principales usines sont : Paulilles près Port-Vendres, Saint-Sauveur près Honfleur, Cugny près Fontainebleau, pour la France ; Aberdeen en Angleterre ; Hambourg, Oppladen, etc., en Allemagne ; Avigliana, Cengio, en Italie, etc. On en fabrique maintenant dans toutes les grandes puissances de l'Europe et en Amérique.

Panclastite, mélinite, picrates, etc. — Le coton-poudre et la dynamite ne sont pas les seuls explosifs dérivant de l'action de l'acide azotique sur un autre corps. La *panclastite* et la *mélinite*, inventées par Turpin vers 1888, résultent de l'action de l'acide azotique ou hypoazotique sur le sulfure de carbone. Ces explosifs servent au chargement des obus. Chaque obus est divisé en deux compartiments, l'un contenant l'acide hypoazotique, l'autre le sulfure de carbone. Cette cloison, se brisant par le choc au moment où l'obus reçoit l'impulsion au départ, les deux liquides se mélangent et l'inflammation se produit par le moyen d'une fusée quand l'obus arrive à destination.

L'acide picrique, obtenu par l'action de l'acide azotique sur le phénol, est également un explosif violent, employé pour la première fois par Designolle, vers 1866. On a composé des poudres brisantes en mélangeant du picrate de potasse avec du chlorate de potasse, mais cette poudre doit être maniée avec une extrême prudence. On obtient une poudre verte, aussi des-

tructive que la dynamite, en comprimant fortement un mélange de 12 parties de chlorate de potasse, 5 parties d'acide picrique et 4 parties de prussiate jaune de potasse.

MM. Béry et Cari-Mantrond fabriquent une poudre aussi brisante que le fulminate de mercure par le mélange du chlorate de potasse avec l'hypophosphite de baryte. Suivant eux, on perce une feuille de clinquant en y déposant quelques parcelles d'un mélange d'hypophosphite de soude sirupeux et de chlorate de soude, puis chauffant jusqu'à dessiccation complète : le mélange détone et perce la feuille.

Poudre sans fumée. — On appelle *poudre sans fumée* toute substance explosive brûlant sans production de corps solide, les gaz seuls étant incapables de produire de la fumée. La première en date est la poudre préparée en Prusse par le colonel Schultze, composée de cubes de bois trempés dans l'acide azotique, puis imprégnés d'un corps oxydant, par exemple l'azotate d'ammoniaque; cette poudre fut employée pour les armes de chasse. Perfectionnée, elle servit sous le nom d'*apyrite* dans l'armée suédoise.

Le coton-poudre constitue aussi une poudre sans fumée. La difficulté consistait à modérer sa force explosive pour la faire servir dans les armes de tir. Von Lenk, en 1862, fit les premières recherches dans ce sens, mais les résultats furent très médiocres et l'armée autrichienne dut renoncer à son emploi. Abel obtint de meilleurs effets en réduisant le coton-poudre en pâte, puis le mélangeant avec du camphre, de l'éther acétique, de l'acétone, enfin comprimant le tout par laminage. La poudre Abel ressemble à une matière cornée. M. Vieille, en France, parvint encore à un meilleur résultat par une méthode tenue secrète; sa poudre, employée actuellement dans l'armée française, offre le même aspect que celle d'Abel. Ce sont des lamelles brillantes, d'une coloration brune, ressemblant à de la corne. En 1867, Abel découvrit la *gélatine explosive* en ajoutant de la nitroglycérine à du coton-poudre réduit en pâte. Ce nom de gélatine est simplement destiné à rappeler l'apparence gélatineuse du produit, celui-ci ne contenant pas de gélatine

proprement dite. Nobel y ajoute du camphre pour diminuer sa force explosive. La poudre Nobel, d'une fabrication très pénible, s'obtient en mélangeant 150 parties de coton-poudre avec 10 parties de nitroglycérine et 10 parties de camphre ; on malaxe, on lamine entre des cylindres, puis on découpe en lamelles et on les réduit en grains. Toutes ces opérations, exécutées à Avigliana, près de Turin, doivent se faire sous l'eau pour éviter des explosions.

La France fabrique annuellement 15 millions de kilos de poudres diverses dans ses poudreries nationales. Ces établissements sont situés à Angoulême (Charente), Moulin-Blanc et Pont-de-Buis (Finistère), Ripault (Indre-et-Loire), Sévran-Livry et le Bouchet (Seine-et-Oise), Esquerdres (Pas-de-Calais), Saint-Ponce (Ardennes), Vonges (Côte-d'Or), Saint-Chamas (Bouches-du-Rhône), Toulouse (Haute-Garonne) et Saint-Médard près de Bordeaux. On raffine le soufre et le salpêtre à Lille, Bordeaux et Marseille. Bourges possède une école centrale de pyrotechnie pour artifices de guerre.

Les principales poudreries étrangères sont situées à Woolwich et Waltham-Abbey (Angleterre), Spandau et Hamm (Allemagne), Wetteren (Belgique), Stein (Autriche), Fossano (Italie), Okha (Russie).

II. — ARMES PORTATIVES.

Armes de guerre. — La guerre est une nécessité de la civilisation. L'histoire nous prouve, en effet, que les armes progressent comme la civilisation elle-même, d'où résultent des guerres de plus en plus formidables et meurtrières. Les peuples les plus civilisés ont le plus à redouter la force brutale des nations encore plus voisines de la barbarie ; ils perfectionnent leurs armes pour conserver leur supériorité.

Les hommes, dans les âges primitifs, ne connaissant pas encore les métaux, se servaient uniquement d'armes en pierres, en bois durs, en peaux d'animaux, en matières végétales : c'étaient des haches en pierres, des frondes, des javelots

(caillou aiguisé fixé à l'extrémité d'un bâton), des arcs, des boucliers, des casques, des brassards, des jambières, en peaux d'animaux. Certaines de ces armes avaient reçu des perfectionnements remarquables : les Chinois possédaient des arbalètes, capables de lancer sans interruption vingt flèches les unes à la suite des autres.

Plus tard, quand on connut les métaux, on fit usage du bronze, puis du fer. Apparurent alors les épées, les lances, les poignards, les boucliers métalliques, les cottes de mailles, les cuirasses si compliquées du moyen âge, au temps de la chevalerie. Le bouclier disparut au XVI[e] siècle, devant les progrès des armes à feu. Mais il subsiste encore dans l'armement moderne une partie des armes d'autrefois. C'est ainsi qu'ont été conservés la lance, la cuirasse, fort réduites il est vrai ; le sabre, l'épée, la baïonnette qui s'adapte au fusil. Quant au fleuret d'escrime, il fit son apparition en Espagne, à l'époque de Charles-Quint.

Les armes portatives à feu ont pris naissance à la fin du XIV[e] siècle, quand on connut la poudre, d'origine chinoise. Les progrès des armes offensives devinrent dès lors très rapides, tandis que ceux des armes défensives restèrent presque nuls. On ne put résister au choc puissant des balles et des boulets. Quelques inventeurs ont cependant imaginé dans ces dernières années des plastrons défensifs. Henri Dowe, tailleur à Mannheim (Allemagne) a construit une cuirasse à ressorts qui aurait la propriété d'arrêter les balles à la distance de 400 mètres, mais les essais auxquels on s'est livré, en divers pays, sont loin de conclure à l'adoption de la cuirasse de ce tailleur. Un autre Allemand, Reindl, a inventé un plastron semblable. Les expériences auxquelles ont été soumis ces engins défensifs ne paraissent pas encore concluantes.

Les premières armes à feu furent des bombardes et des canons, lançant des boulets en pierre ou en fonte ; elles apparurent au commencement du XIV[e] siècle. A la fin de ce siècle, on créa les armes à feu portatives, armes très lourdes, devant être supportées par des piquets en bois pendant le tir on

les appelait des *mousquets*. Le mousquet eut de la difficulté à se substituer à l'arc et à l'arbalète, car la poudre était mauvaise, souvent humide, ne brûlait pas toujours; les balles étaient mal fabriquées, trop petites pour le calibre du canon et l'on ne pouvait tirer qu'un coup de mousquet contre dix flèches ou trois projectiles d'arbalète pendant le même temps. Le meilleur mousquetaire ne tirait dans une bataille qu'un coup en moyenne par heure, le reste du temps se trouvant perdu par le transport si pénible de l'instrument. On mettait le feu à la poudre au moyen d'une mèche.

On fut donc obligé de diminuer le poids du mousquet et d'en faire une arme réellement portative. On perfectionna la poudre, les balles et surtout le mode d'enflammer la poudre. Au XVIe siècle, on imagina à Nuremberg le fusil à *rouet*, où la giration d'une roue dentée en fer provoquait une étincelle par frottement contre un alliage de fer et d'antimoine. On substitua ensuite au rouet le choc d'un chien contre une pyrite de fer; en 1640, on remplaça la pyrite par du silex. Du XVIe siècle datent également les premières tentatives pour fabriquer les armes rayées, les revolvers et les armes à repétition, tentatives qui avortèrent à cause du peu de perfection atteint à cette époque par les arts mécaniques. Les idées étaient bonnes, mais les inventeurs ne possédaient pas encore les moyens d'exécution.

Bref, aux XVIIe et XVIIIe siècles, on pouvait déjà tirer quatre à cinq coups de fusil par minute, à la condition de ranger les soldats sur plusieurs rangs; ceux du premier rang tiraient et repassaient ensuite les armes aux soldats des rangs de derrière qui rechargeaient. La découverte du fulminate de mercure conduisit à la construction des armes à tir rapide. L'Écossais Forsyth, en 1807, inventa la capsule à fusil où le choc du chien déterminait l'inflammation du fulminate. Vers la même époque on raya le canon, ce qui rendit la trajectoire de la balle plus régulière et augmenta sa force de pénétration. Les premiers fusils rayés firent leur apparition en 1826. Rappelons qu'en Allemagne, dès 1640, on rayait déjà les pistolets. Dreyse, en Prusse, imagina en 1841 le fusil à aiguille, où le chien était rem-

placé par une aiguille provoquant l'inflammation de la capsule, au milieu de la cartouche elle-même. L'emploi de la cartouche pourvu de son détonateur date de la guerre de Sécession, aux États-Unis; ce fut certainement le plus grand pas fait en vue d'atteindre la rapidité qu'ont actuellement acquis les armes à feu ; le soldat n'a plus besoin, comme jadis, d'introduire successivement dans le fusil la poudre, la balle et la capsule : il suffit d'introduire la cartouche, celle-ci renferme le tout. Le chargement par la culasse diminua encore le temps nécessaire pour armer le fusil. Le fusil Chassepot, adopté par la France en 1866, après Sadowa, fut une imitation du fusil à aiguille.

On pouvait se croire en possession d'une arme parfaite, quand apparut le fusil à répétition qui obligea de renouveler l'armement chez tous les peuples. Le fusil à aiguille donnait déjà de 12 à 15 coups à la minute ; le fusil à répétition en tire beaucoup plus. En outre, on a employé des poudres plus violentes, on a diminué le calibre du canon, on a enveloppé les balles d'une couche d'un métal dur, si bien que le projectile ricoche encore avec un bruit strident à la distance de 2 kilomètres et s'enfonce de 2 à 3 centimètres dans le bois de sapin. Les canons de fusil sont en acier afin de pouvoir supporter les pressions énormes nécessitées par l'emploi de la poudre actuelle. Au lieu de les fabriquer comme jadis, en forgeant un ruban d'acier enroulé sur une tige, on creuse la cavité dans un cylindre plein d'acier fondu.

Le premier fusil à répétition fut inventé dès 1869 par Wetterli, en Suisse. Tous les systèmes actuels peuvent se rapporter à deux types : le type Spencer, où les cartouches sont enfermées dans un magasin logé dans la crosse, et le type Winchester où les cartouches sont placées dans un tube parallèle au canon. Le système Winchester, le meilleur des deux, a été adopté le plus généralement.

Les revolvers ou pistolets à répétition, ont été surtout perfectionnés aux États-Unis. L'armée prussienne les utilisa la première dans la cavalerie, comme armes de guerre destinées à remplacer la lance.

Les progrès accomplis dans la fabrication mécanique des

armes de guerre surprennent véritablement. Jadis, les pièces de fer, d'acier ou de cuivre composant un fusil se faisaient grossièrement avec des machines spéciales, puis il fallait ajuster toutes ces pièces. Quant au bois, on le travaillait entièrement à la main. Il en résultait une lenteur extraordinaire dans la transformation de l'armement d'une nation. La Prusse commença la fabrication de son fusil à aiguille en 1841 ; en 1866, son armée ne possédait encore que 60 000 fusils du nouveau modèle. Cependant les progrès de la fabrication mécanique des armes, et principalement des revolvers, devenaient de plus en plus rapides aux États-Unis. Le gouvernement anglais, s'étant trouvé dépourvu d'armes au moment de la guerre de Crimée, décida de créer une manufacture mécanique à Enfield, à l'instar des manufactures américaines. Son exemple fut bientôt suivi par les grandes puissances militaires de l'Europe, et celles-ci installèrent des ateliers mécaniques chez elles. Cela ne ne se fit pas sans difficulté : les ouvriers, qui travaillaient jadis chez eux à l'entreprise, se révoltèrent et détériorèrent les machines. Bref, jusqu'en 1870, la fabrication mécanique des armes fonctionna mal ; elle ne devint irréprochable, du moins en France, qu'à partir de 1883.

La fabrication mécanique des armes présente de très grands avantages ; toutes les pièces ont entre elles une identité absolue, condition indispensable pour remplacer tout de suite, sans ajustage préalable, une pièce hors d'usage. En deux ou trois ans, une nation bien outillée peut renouveler complètement son matériel de guerre. La victoire devant appartenir au peuple le mieux armé, il en résulte que la nation la plus riche finira par l'emporter : elle pourra le mieux renouveler son armement.

Disons un mot des fusils à vent et des fusils à vapeur, qui ont peut-être un grand avenir.

Le fusil à vent fut inventé un siècle avant Jésus-Christ par un Grec du nom de Ctésibius. Le projectile était lancé par la détente brusque de l'air comprimé dans un récipient. Absolument tombé dans l'oubli pendant des siècles, le fusil à vent fut réinventé en 1602 par Bourgeois (de Lisieux), puis perfectionné

par Perrot. On a également imaginé des fusils à vapeur : citons particulièremnt celui de Perkins. Tous ces fusils sont actuellement de simples curiosités. Un jour cependant les fusils et les canons des remparts d'une place forte seront peut-être actionnés au moyen de la vapeur ou de l'électricité. Ce sera le triomphe de la mécanique ; les ingénieurs se battront à coups de machines et les soldats regarderont faire en simples spectateurs ! Gardons notre sérieux, mais reconnaissons cependant que la guerre devient de plus en plus une industrie, où les savants et les ingénieurs jouent le rôle prépondérant.

Armes de chasse. — Les armes de chasse ont suivi naturellement les progrès des armes de guerre. En 1515, sous le règne de François Ier, les chasseurs substituèrent le fusil à l'arc et à l'arbalète. Le plomb de chasse fut inventé en Italie au XVIe siècle ; on se servait auparavant d'une balle unique. En 1600, un canonnier français, nommé Le Clère, imagina le fusil à double canon, mais son invention ne fut réalisée pratiquement qu'en 1740. En 1830, Robert chargea le fusil de chasse par la culasse ; Lefaucheux, six ans après, obtint une arme ne laissant rien à désirer. C'est encore à Lefaucheux qu'on doit l'invention de la cartouche à culot de métal et à tube en carton ; Flobert fit des cartouches entièrement métalliques pour sa carabine de salon. Quant à la cartouche à percussion centrale, elle est due à Pottet, armurier à Paris.

Statistique. — La France possède des manufactures d'armes de guerre, appartenant à l'État, à Châtellerault, Saint-Étienne, Tulle et Puteaux (Seine). On peut y fabriquer mille fusils par jour, au moyen de 5500 machines. Ces usines occupent 8000 ouvriers.

Les armes de chasse viennent des manufactures de Saint-Étienne et de Paris. Saint-Étienne fabrique les armes de bas prix, Paris celles de luxe. Saint-Étienne est la seule ville, avec Birmingham, Liège et quelques villes des États-Unis, qui possède une fabrication mécanique pour les armes de chasse ; la variété des modèles exige trop de machines différentes. Paris occupe le premier rang au monde pour les armes de luxe ;

les ornementations y sont faites par de véritables artistes.

Châtellerault et Saint-Étienne ont la spécialité de la fabrication des armes blanches de luxe. Paris fait la monture, le fourreau et la garniture.

Le goût de la chasse est devenu aussi général en France que celui de la pêche ; tout le monde veut devenir chasseur. En 1887, l'État a délivré 378000 permis de chasse. En conséquence le commerce des armes est considérable en France.

On fabrique aussi hors de France des armes de chasse renommées. Signalons surtout les armes de luxe de l'Angleterre, longtemps sans rivales et celles de Liège, en Belgique. Liège exporte beaucoup d'armes communes ; dans cette ville on a fabriqué, en 1888, 900000 fusils et 600000 revolvers. Les États-Unis, grâce à une fabrication mécanique tenant du prodige, font un immense commerce d'armes à feu ; Solingen, en Allemagne, excelle pour ses armes blanches, d'une remarquable beauté.

III. — ARTILLERIE.

Les premiers canons furent employés par les Anglais au siège de Cambrai, en 1339, et à la bataille de Crécy, en 1346. C'étaient de très lourds tubes en fer, montés sur des affûts sans roues, lançant d'énormes boulets en pierre ; ces tubes étaient cerclés pour empêcher qu'ils ne vinssent à se briser. Ouverts aux deux bouts, on introduisait le boulet, puis la poudre et on fermait comme on pouvait, tant bien que mal. On a donc débuté en chargeant les canons par la culasse.

Plus tard, on les ferma complètement par un bout, on les fit en bronze et on les monta sur des affûts à roues. Au boulet de pierre on substitua le boulet de fonte. Le canon ne subit plus de perfectionnements importants qu'au milieu du XIX[e] siècle.

Un Piémontais, Cavalli, raya le premier les canons comme on le pratiquait déjà pour les fusils. La France perfectionna les canons rayés, qui firent merveille en 1859 dans les batailles d'Italie, surprenant autant les Français que les Autrichiens par la justesse de leur tir.

La France ne conserva pas longtemps sa supériorité dans l'artillerie. Les Prussiens perfectionnèrent à leur tour les canons : ils substituèrent l'acier au bronze et les chargèrent par la culasse. La transformation de l'artillerie prussienne se fit dans l'usine de Krupp. Grâce à la supériorité de son artillerie, la Prusse écrasa l'armée française en 1870. La Prusse n'avait fait que perfectionner une invention très ancienne. Il existait déjà quelques canons se chargeant par la culasse au xv[e] siècle : on en vit au siège d'Orléans par les Anglais en 1428. La Bavière, en 1557, l'Italie, en 1621, possédaient aussi des canons semblables. Les résultats devaient avoir été peu satisfaisants, car on n'entendit plus parler de tentatives nouvelles de chargement par la culasse dans les siècles suivants. Il fallut les progrès de la métallurgie et de la mécanique au xix[e] siècle pour résoudre le problème. La France possède actuellement des canons excellents, avec obturateurs perfectionnés par les officiers de Bange et de Lahitolle.

L'industrie fabrique des canons monstres, lançant des obus à l'énorme distance de quatorze à seize kilomètres. En 1878, l'usine Krupp a construit un canon de 9 mètres de longueur, pesant 52000 kilos et projetant un obus de 525 kilos avec une charge de 115 kilos de poudre.

L'usine Armstrong, à Elswick, en Angleterre, a livré à l'Italie, en 1876, un canon de cent tonnes, lançant un obus de 908 kilos. La France n'est pas en retard sur les peuples voisins ; tout le monde a pu admirer à l'Exposition de 1889 l'énorme canon du colonel de Bange.

L'artillerie de montagne a suivi les progrès de l'artillerie de forteresse, des navires cuirassés et de campagne. On construisait déjà au xv[e] siècle des canons se partageant en deux tronçons, qu'on pouvait transporter à dos de mulets à travers les sentiers des montagnes. Armstrong a inventé récemment des canons à tronçons, avec affûts également démontables, qui ont joué un rôle efficace dans la dernière guerre turco-russe et en Afghanistan.

Les boulets ont été considérablement perfectionnés, grâce

aux progrès des explosifs. Nous sommes loin de l'époque où les canons utilisaient des boulets de pierre ou de fonte. Les bombes et les obus, à forme cylindro-conique, apparurent en même temps que les canons rayés. L'ancienne forme ronde, avec obturation imparfaite, fut abandonnée ; on lui substitua des cylindres à enveloppe molle, avec pointes coniques pour mieux traverser l'air. L'enveloppe se moule dans les rayures et détermine une fermeture hermétique ; de plus, les rayures étant hélicoïdales, l'obus tourne sur lui-même et sa trajectoire devient d'une admirable précision.

Les obus creux se chargent d'une matière explosive qui s'enflamme au point d'arrivée, soit par percussion, soit au moyen d'une fusée contenue à l'intérieur même de l'obus. L'obus travaille donc pour son compte une fois qu'il a été lancé par le canon. Il existe plusieurs variétés d'obus : des obus à balles, ou *schrapnels*, éparpillant des balles en éclatant ; des obus se fragmentant en une multitude d'éclats ; des obus-torpilles, dont les effets destructeurs sont épouvantables quand ils pénètrent et éclatent en terre ou dans les murailles. Les obus à mitraille se chargent avec de la poudre, les obus-torpilles avec du coton-poudre, de la panclastite, de la mélinite, de la gélatine explosive, etc. Grüson, de Magdebourg, a imaginé les obus à deux compartiments, à sulfure de carbone et à acide hypoazotique, dont nous avons déjà parlé.

On a construit dans ces dernières années des canons à tir rapide. Gatling, aux États-Unis, avait inventé dès 1862 une *mitrailleuse*, sorte de canon à tubes multiples, projetant une multitude de balles dans un temps très court. Le colonel Reffye, en France, perfectionna peu de temps avant 1870 la mitrailleuse américaine, et l'on comptait beaucoup sur ces machines pour la prochaine guerre. On eut le malheur de trop cacher la mitrailleuse, si bien que personne ne savait s'en servir au moment où la guerre éclata contre l'Allemagne.

Les mitrailleuses à balles ont été délaissées et l'on a préféré construire de petits canons à tir rapide. Les principaux types sont ceux de Nordenfelt, de Maxim, d'Armstrong et de Canet. Le

canon Canet, employé en France, possède la supériorité; il lance des projectiles du poids de 40 kilos. Pendant que le canon Armstrong tire 6 coups, celui de Canet en tire dix.

Les canons à vapeur et à air comprimé n'existent encore qu'à l'état d'essais. Le canon pneumatique, imaginé par les Anglais en 1811, a été perfectionné en 1883 par Mefford. Il permet de lancer à peu de distance des obus-torpilles. Quant au canon à vapeur, il a été étudié successivement par Watt, à la fin du XVIII[e] siècle, par le général Gérard en France, par Perkins aux États-Unis en 1824, par Bessemer dans ces dernières années, mais les résultats obtenus restent jusqu'ici très médiocres.

La fabrication des canons devient l'une des principales branches de l'industrie métallurgique. En France, les établissements du Creusot et ceux du Centre livrent des canons et des obus aux gouvernements français et étrangers. Les usines Krupp, à Essen, en Prusse, et Armstrong à Elswick, près de Newcastle-upon-Tyne, en Angleterre, jouissent d'une grande renommée.

IV. — FORTIFICATIONS, PONTS, BALLONS.

Les fortifications se construisirent d'abord en terre; puis, les armes offensives devenant plus redoutables avec l'invention du canon, il fallut les consolider avec des murailles de pierres ou de briques. En 1870, les obus-torpilles causèrent une révolution dans l'art des fortifications; on dut alors démolir les anciens remparts de Vauban et construire des forts cuirassés et des casemates blindées pour abriter l'armement. Les parties passives des fortifications se recouvrent simplement de béton. Les canons sont enfermés dans des tourelles en fonte durcie.

Le commandant Mougin, ingénieur à Saint-Chamond, a imaginé des coupoles oscillantes et à rotation pour protéger les canons. En cinq secondes, la coupole se relève, le coup part et la coupole s'abaisse en mettant canons et hommes à l'abri des obus ennemis. Ces coupoles sont faciles à dissimuler et rien n'indique le moment où elles émergent. Chacune renferme deux canons.

Le commandant Marcille a construit des ponts métalliques, démontables, permettant de rétablir très rapidement la circulation sur les voies ferrées, dans le cas où l'ennemi aurait détruit les ponts primitifs. Il faut quarante-six heures pour édifier un pont de 30 mètres de longueur, quatre-vingt-six heures pour un pont de 45 mètres.

Il existait, en France, deux régiments de pontonniers, l'un à Angers, l'autre à Avignon, ayant pour mission de jeter rapidement des ponts de bateaux sur les cours d'eau pour le passage des troupes. Ces régiments possédaient des ateliers de construction pour le matériel des ponts en bois. En vertu d'une loi récemment votée (juillet 1894) par le Parlement, le service des ponts a été confié au génie militaire.

Les ballons captifs sont utilisés pour la guerre comme postes d'observation ou comme signaux. Coutelle, en 1794, créa l'aérostation militaire en France, avec l'aide de Guyton de Morveau et de Jacques Conté. Les ballons captifs firent leur première apparition à la bataille de Fleurus. Aux États-Unis, pendant la guerre de Sécession, on utilisa aussi les ballons captifs et les aéronautes furent mis en communication avec l'état-major au moyen d'un appareil télégraphique. On se rappelle encore les services rendus par les ballons pendant le dernier siège de Paris. L'aérostation a fait l'objet de nombreuses recherches dans ces derniers temps. Le commandant Renard, directeur du parc aérostatique de Meudon, a considérablement perfectionné les ballons au point de vue de leur usage dans l'armée. Il a créé un matériel fort ingénieux, se composant d'une voiture pour transporter le ballon et ses agrès, le filet et la nacelle, d'un treuil à vapeur pour ramener le ballon à terre et d'un générateur d'hydrogène.

Le ballon, de forme sphérique, a un diamètre de 10 mètres et un volume de 540 mètres cubes. L'enveloppe, en tissu de soie, est rendue complètement imperméable à l'hydrogène au moyen de plusieurs couches de vernis. Afin d'éviter toute éraflure, on ne le manie qu'avec les mains gantées et les pieds chaussés de chaussons de lisière.

Le filet est en coton, la nacelle en osier. La nacelle, pouvant enlever deux hommes, contient une ancre, dans le cas de rupture du câble, du lest, des drapeaux pour signaux et un téléphone. Le câble d'attache ne se fixe pas directement à la nacelle, ce qui aurait l'inconvénient de la faire pencher, mais à un cadre rectangulaire, lui-même relié à la nacelle.

Le capitaine Renard a encore perfectionné la soupape de sortie du gaz, d'une étanchéité complète, pouvant s'ouvrir ou se fermer graduellement.

L'hydrogène se prépare dans des réservoirs où l'on fait agir un mélange d'eau et d'acide sulfurique sur de la tournure de fer. Cet appareil peut donner 300 mètres cubes de gaz à l'heure. Quant au transport de l'hydrogène, il s'effectue dans des tubes d'acier, comprimé à la pression de 150 atmosphères. Les Anglais ont imaginé ce procédé commode de transport.

Pour faire les signaux, on se sert d'une lampe électrique à arc, placée dans la nacelle, ou encore de lampes à incandescence, enfermées dans le ballon qui s'illumine. L'électricité est fournie par une machine dynamo située à terre et les fils conducteurs sont logés dans le câble qui maintient l'aérostat.

V. — NAVIRES DE GUERRE.

Cuirassés. — Les anciens navires de guerre, en bois et à voiles, étaient armés de très nombreux canons, mais d'une faible portée et d'une faible pénétration. Sous Louis XII, il existait des navires portant jusqu'à 1200 combattants et 200 pièces d'artillerie. La flotte française, sous Louis XIV, se composait de 92 navires, armés de 4600 canons, montés par 38 000 hommes d'équipage.

Les navires de guerre modernes ont acquis une puissance formidable. Le fer et l'acier ont remplacé le bois ; la vapeur s'est substituée à la force du vent ; les canons gigantesques se manœuvrent mécaniquement par des moteurs à vapeur ou à eau ; les foyers électriques, alimentés par de puissantes dynamos, permettent d'éclairer la mer et les ports à de longues distances.

Un navire de guerre représente actuellement une citadelle flottante, munie de tous les moyens d'attaque et de défense. C'est là surtout qu'on admire la science de l'ingénieur, lequel a su donner aux navires de la stabilité, de la vitesse, une giration rapide pour attaquer dans toutes les directions, une artillerie puissante, un éperon terrible pour fendre l'ennemi, des torpilles pour attaquer, des cuirasses pour se défendre, des cloisons étanches et un double fond pour mieux résister à l'action des obus.

L'idée de cuirasser les navires remonte à l'antiquité ; quatre siècles avant Jésus-Christ, il existait déjà des barques cuirassées au moyen de plaques de bronze. On trouve aussi des cuirasses de fer, au XIIe siècle, sur les navires des Normands. A la fin du XVIIIe siècle, les vaisseaux anglais étaient protégés par des plaques superposées de bois, de cuir et de fer.

La puissance croissante de l'artillerie a exigé l'emploi de plaques de blindage très épaisses et faites d'un métal très résistant. Fulton, en 1810, construisit à New-York une batterie flottante, défendue par des cuirasses épaisses. Cette tentative n'eut guère de succès ; ce fut la France qui, en 1854, réalisa pratiquement le problème du cuirassement des navires ; la *Dévastation* et la *Tonnante*, batteries cuirassées, furent construites sur les plans de MM. Garnier et Guieysse. L'Angleterre copia aussitôt les plans des ingénieurs français. La première frégate cuirassée fut construite en 1858 par M. Dupuy de Lôme. Les monitors à tourelles cuirassées furent créés par Ericson aux États-Unis. Depuis lors, cuirasses et canons se livrent une lutte acharnée. Aux canons monstres, il a fallu exposer des cuirasses de plus en plus dures et épaisses. Tous les progrès de la marine militaire sont dus, en définitive, à la France, à l'Angleterre, et aux États-Unis ; la plupart des autres nations font construire leurs navires dans ces trois pays.

Voici la nomenclature des navires de guerre employés par la France :

Cuirassés d'escadre, de 8000 à 12 000 tonnes, trois cuirassés formant une division ;

Cuirassés de croisière, de 4000 à 6000 tonnes ;

Croiseurs cuirassés, de 5000 à 6000 tonnes, à grande vitesse ;

Gardes-côtes cuirassés, de 6000 tonnes, à cuirasses très épaisses, armés de très gros canons et de pièces à tir rapide ;

Canonnières cuirassées, de 1500 tonnes, avec gros canon à l'avant ;

Croiseurs-torpilleurs, de 1300 tonnes, armés de canons à tir rapide, de torpilles et doués d'une grande vitesse ;

Avisos-torpilleurs, de 400 tonnes.

Les plaques de blindage atteignent jusqu'à 50 centimètres d'épaisseur, avec un poids de 57000 kilos. Il faut un outillage spécial pour leur fabrication. En France, les principales usines fabriquant des blindages sont celles du Centre et de la Loire, du Creusot, de Rive-de-Gier, etc. L'usine des Étaings, près Rive-de-Gier, pour ne citer qu'un exemple, possède un outillage d'une puissance énorme : des laminoirs gigantesques, un marteau-pilon de cent tonnes, une cheminée de 108 mètres de hauteur, etc.

L'artillerie de marine comporte un matériel très varié. On y emploie depuis les grosses pièces, d'une valeur de 210 000 francs, lançant des obus du prix de 2650 francs, dont chaque coup revient à 5010 francs, jusqu'aux canons-revolvers Hotchkiss, à cinq tubes d'acier, tirant 15 coups à la minute et les canons à tir rapide Canet, tirant 16 coups à la minute.

L'Angleterre construit en ce moment, à Birkenhead, huit cuirassés semblables, dont voici la description ; ils représentent ce que l'on a fait de plus formidable jusqu'ici.

Ces navires en acier, de 120 mètres de longueur et de 22^{m},50 de largeur, déplacent 14 150 tonnes. Ils sont fractionnés en 220 compartiments étanches. La cuirasse de ceinture a 2^{m},55 de hauteur et une épaisseur de 0^{m},45. Le pont est cuirassé et protégé par un second pont. Ils possèdent deux machines à vapeur à triple expansion, d'une force de 13 000 chevaux ; la vitesse atteint 17 kilomètres et demi à l'heure. Les soutes renferment 9000 tonnes de houille. Quant à l'armement, il se compose de 4 canons de 67 tonnes, enfermés dans des tourelles cuirassées,

de 26 canons à tir rapide, de mitrailleuses et de 7 tubes lance-torpilles Whitehead. Chaque navire coûte 25 millions de francs.

Torpilles. — Les torpilles représentent des obus énormes, chargés de dynamite ou de coton-poudre, dont l'explosion est produite par percussion ou par un courant électrique. Les effets destructifs sont beaucoup plus violents quand la torpille éclate dans l'eau que lorsqu'elle fait explosion dans l'air : le navire, soulevé par l'énorme colonne de gaz qui se dégage, retombe brisé. L'explosion menace surtout les parties submergées, non protégées par la cuirasse.

Les premières torpilles, créées aux États-Unis par Bushnell et Fulton, pendant la guerre de Sécession, étaient fixes. On les coulait au fond de la mer, à l'entrée des ports, de manière à détruire les navires passant à proximité. Cet usage des torpilles n'a d'ailleurs pas été abandonné. On détermine exactement la position de chaque torpille à l'aide de deux postes d'observation dissimulés dans les anfractuosités de la côte, puis on la fait éclater par un courant électrique dès que le navire ennemi passe dans la zone d'action de la torpille.

On préfère cependant aujourd'hui les torpilles offensives, marchant d'elles-mêmes au-devant de l'ennemi. La plus célèbre des torpilles automotrices fut inventée par un simple ouvrier, nommé Whitehead. Elle consiste en une sorte de petit bateau sous-marin, ayant la forme d'un cigare, de 5 mètres de longueur et de 30 à 40 centimètres de diamètre. Elle est divisée en plusieurs compartiments : l'un qui renferme de l'air comprimé actionnant un moteur spécial, un autre où sont contenus les appareils de direction, un troisième enfin où se trouve du coton-poudre comprimé. La torpille marche droit devant elle, rencontre le navire ennemi et fait explosion. Les navires possèdent des filets spéciaux pour arrêter les torpilles au passage et empêcher le choc.

Aux États-Unis, Mac Clean, dès 1877, a imaginé une torpille qui, au lieu de suivre la ligne droite et de se perdre en mer dans le cas de non rencontre avec le navire ennemi, peut être dirigée à volonté dans toutes les directions. Ce terrible engin

est mû par un moteur électrique contenu à son intérieur ; l'électricité lui arrive par des câbles reliés à une machine dynamo située sur le rivage. Un mécanisme permet de modifier la direction du gouvernail, mécanisme également actionné par courant électrique. Edison vient de perfectionner cette torpille.

Le bateau-torpille date de la guerre de Sécession aux États-Unis ; il a été perfectionné par les Anglais. C'est un bateau qui porte une torpille fixée au bout d'une hampe de fer, longue de 6 mètres ; la torpille plonge sous l'eau, à une profondeur de $2^{m},50$, et éclate au contact du vaisseau ennemi. La grande difficulté consiste à approcher l'ennemi qui atteint le bateau avec ses pièces de petit calibre.

Il a donc fallu trouver une meilleure combinaison. Thornycroft a construit les *torpilleurs*, petits navires qui possèdent une grande vitesse, grâce à une machine à vapeur très puissante, quoique de faible poids. Le torpilleur approche de l'ennemi, lance sa torpille au moyen d'un tube pneumatique ou chargé de poudre, puis s'éloigne à toute vitesse. La France a construit quatre types de torpilleurs :

Torpilleurs de haute mer, de plus de 100 tonnes ;
— de 1re classe, de 60 à 100 tonnes ;
— de 2e classe, de 40 à 60 tonnes ;
— de 3e classe, de 20 à 40 tonnes.

Statistique. — Les usines de la marine, en France, sont : La Chaussade (Nièvre), qui fabrique des plaques de blindage, des ancres et des câbles-chaînes ; les fabriques de canons de Ruelle (Charente), de Nevers et de Saint-Gervais (Isère), l'établissement d'Indret (Loire-Inférieure). L'usine d'Indret a été construite dans une île de la Loire, en 1642 ; on y fabrique les machines à vapeur pour les navires de guerre de l'État. Elle occupe environ 1200 ouvriers. Outre les machines à vapeur, on y fait aussi des hélices, des arbres de couche, des torpilles, etc.

Les navires de guerre se construisent dans les ports de guerre de Lorient, de Brest, de Rochefort et à la Seyne, près de Toulon. Le gouvernement s'adresse aussi à l'industrie privée pour les fournitures de son armement maritime. Les cinq ports de

guerre français sont Cherbourg, Brest, Lorient, Rochefort et Toulon. La digue de Cherbourg est célèbre dans les annales des travaux maritimes. En 1840, c'était un écueil sous-marin, dont on apercevait quelques points à la marée basse. Mais, à partir de cette année, les travaux furent poussés avec activité. La digue se compose d'un massif de maçonnerie, large de 200 mètres à la base et de 60 mètres au niveau des basses mers. Sur cette sorte de plateau, on a construit une muraille qui s'élève au-dessus du niveau des hautes mers. Toutes les pierres de granit sont agglomérées entre elles au moyen de ciment. Ce travail de géant a coûté plus de 60 millions.

L'arsenal de Brest est établi sur les deux rives de la Penfeld. On ne pouvait trouver une position mieux choisie et plus facile à défendre que celle de la rade de Brest, l'une des plus vastes et des plus belles du monde. Lorient, important port militaire, s'étend sur les deux rives du Scorff. La plupart des constructions ont été élevées par la Compagnie des Indes, qui a cédé à l'État, en 1770, tous ses ports, ses établissements et ses navires. Les chantiers de construction, les plus importants de la France et d'où sont sortis nos plus beaux navires de guerre, s'étendent sur la rive gauche du Scorff.

L'arsenal de Rochefort, construit sur la rive droite de la Charente, à vingt kilomètres environ de son embouchure, s'étend sur une longueur de deux kilomètres. Il date de 1866. L'outillage complet d'un arsenal maritime comporte un très grand développement. A Rochefort, par exemple, nous trouvons 29 ateliers, dont voici les principaux :

Charpentage, perçage, calfatage ;

Bâtiments en fer ;

Forges et serrurerie ;

Chaudronnerie et machines ;

Menuiserie, scierie, poulierie ;

Mâture, voilerie, garniture ;

Armurerie et torpilles ;

Boulangerie et conserves alimentaires.

On y voit encore 62 machines motrices, 3 bassins de radoub,

7 cales de construction, 2 machines à mâter flottantes, un appareil élévatoire de 150 tonneaux, des grues à vapeur, des chemins de fer, des parcs, des magasins, des salles d'armes, etc. En totalité l'arsenal occupe 2700 ouvriers.

L'arsenal de Toulon, le plus ancien et le plus important de France, date de 1610. Situé sur l'emplacement d'un ancien marécage, sa construction a présenté de grandes difficultés. Il a fallu enfoncer une multitude de pieux dans la vase et empâter le bois dans une masse puissante de béton qui s'étend sous toute la surface occupée par les bâtiments. L'arsenal de Toulon occupe 8000 ouvriers. On y fabrique une énorme quantité de biscuits pour la marine. En 1865, on a établi dans l'arsenal de Toulon une grue à vapeur, pesant 390000 kilos et coûtant 500000 francs, dont 100000 francs pour les fondations.

CHAPITRE VII

TRAVAIL ARTISTIQUE DES PIERRES ET DES MÉTAUX.

I. — JOAILLERIE.

La joaillerie est l'art de tailler et de monter les pierres précieuses et les perles. Connue dès l'origine de la civilisation, elle a surtout pris du développement depuis le milieu du XVe siècle.

Diamant. — Le diamant a été connu en Orient dès la plus haute antiquité ; il ne fut introduit en Europe que trois siècles avant Jésus-Christ, à la suite de la conquête de l'Inde par Alexandre le Grand. Newton soupçonna sa combustibilité ; Lavoisier, à la fin du XVIIIe siècle, montra le premier que le diamant était du charbon pur.

Les premiers diamants vinrent de l'Inde ; en 1723, on en découvrit au Brésil, puis au Cap en 1867.

La production est insignifiante en dehors de ces trois gisements. On en trouve quelque peu à Bornéo, en Australie, en Chine, dans l'Oural et aux États-Unis (Géorgie, Caroline du Nord, Californie). Les Chinois ont un singulier procédé pour l'extraire du sable auquel il est mélangé : ils marchent sur le sable avec des chaussons de paille aux semelles desquels le diamant adhère, puis ils brûlent la paille et cherchent les pierres dans la cendre.

Le diamant se rencontre dans certaines roches d'origine

volcanique et dans le sable provenant de la démolition de ces roches.

Aux Indes, on trouve le diamant dans quatre gisements : à Hyderabad, près de l'antique Golconde, entre les rivières Mahanunda et Godavery, près de Punnah et à Wyndhya, dans le Nord. Les sables sont partout épuisés et l'on n'a pas encore pu trouver les roches volcaniques diamantifères. Les plus beaux et les plus gros diamants proviennent des recherches faites anciennement dans l'Inde.

Les diamants du Brésil s'exploitent dans les provinces de Minas-Gerães et de Bahia, dans les sables des rivières de Tibagy et du Parana. Le gîte de Diamantina ou de Tejuco est le plus renommé. La production du Brésil diminue beaucoup depuis la découverte des diamants du Cap, malgré la pureté de ses pierres égale à celle des diamants de l'Inde.

Les gisements du Cap, situés à cent kilomètres au nord du fleuve Orange, près des frontières de l'État d'Orange où ces gisements se prolongent, consistent en une boue serpentineuse d'origine volcanique. On a creusé des carrières immenses de plus de cent mètres de profondeur. La découverte des diamants du Cap eut une origine singulière : en 1867, le fils d'un fermier hollandais trouva un caillou qu'un voyageur remarqua et qu'il reconnut être un diamant ; deux ans plus tard, on s'aperçut que la boue ayant servi à construire les murs d'une maison contenait un grand nombre de petits diamants. En apprenant ces faits, une foule d'aventuriers accoururent de toutes les parties du monde ; dès 1871, on avait fondé dans cette contrée désolée une ville de 30 000 habitants, Kimberley. Une seule exploitation a donné 3000 diamants par jour pendant huit mois. En 1885, le Cap a fourni des diamants pour une valeur de 63 millions de francs.

Les diamants du Cap ont une couleur d'autant plus jaune qu'ils sont plus gros ; ils possèdent la singulière propriété de se briser à l'air dans les deux à trois mois qui suivent leur sortie du sol. On les empêche de se briser en les recouvrant de suif pendant ce laps de temps.

On a choisi pour unité de poids du diamant le *karat*, qui pèse

207 milligrammes. Pour obtenir le prix, évalué en francs, d'un diamant taillé, il faut multiplier le carré de son poids, évalué en karats, par 48. Le mot *karat* vient du nom de la fève *kuarat*, employée aux Indes pour peser les pierres précieuses et les perles.

Le *Régent*, acheté aux Indes par Pitt et revendu 3 125 000 francs au Régent, sous le règne de Louis XV, pèse 136 karats et vaut actuellement 12 millions. Il pesait 410 karats avant sa taille, qui a duré deux ans et coûté 200 000 francs. C'est le plus beau diamant du monde. Il appartient au gouvernement français qui l'expose dans la galerie d'Apollon, au Louvre.

A citer encore le *Koh-i-noor* (Angleterre) pesant 103 karats ; le *Mogol* , du poids de 280 karats, qui a disparu ; l'*Orloff* (Russie) qui pèse 193 karats. L'*Étoile du Sud*, de couleur rosée, trouvé au Brésil en 1853, pèse 127 karats. Les plus gros diamants ont été découverts au Cap, dans ces dernières années.

Le diamant demeura sans valeur tant qu'on ne sut pas le tailler. Sa taille, déjà connue aux Indes depuis une haute antiquité, ne se pratiqua en Europe qu'à partir de la fin du moyen âge. Amsterdam, Anvers et Paris taillent spécialement le diamant, mais surtout Amsterdam, qui conserva longtemps le monopole de cette industrie : Paris ne taille que depuis 1857.

Il existe deux types de taille : en *brillant*, sous forme de deux pyramides, la supérieure terminée par une partie plate, pour les diamants de qualité supérieure ; en *rose*, plate en dessous, pour les diamants de qualité médiocre.

On commence par cliver le diamant afin de lui donner une forme grossière, puis on passe à l'*égrisage* qui le dégrossit ; l'égrisage s'opère par le frottement de deux diamants l'un contre l'autre. On termine par le *polissage* : le diamant, fixé à l'extrémité d'un outil au moyen d'un alliage de plomb et d'étain, est appuyé et s'use contre une meule plate en fer, tournant très rapidement et recouverte d'un mélange d'huile et d'*égrisé*. L'égrisé est de la poudre de diamant.

Le diamant ne sert pas seulement dans la joaillerie : on l'utilise pour faire des pivots d'horlogerie, des trous de sondage dans

les roches dures, pour scier la fonte trempée, la porcelaine, le verre, les pierres très résistantes, pour tailler le verre, pour construire des filières exigeant plus de résistance que l'acier, pour redresser l'âme des canons, pour raboter les meules, pour graver en taille-douce et sur pierre lithographique. On préfère pour ces usages les diamants noirs, à arêtes curvilignes, plus durs que les autres et non susceptibles d'être taillés. On utilise en définitive sa propriété d'être le plus dur de tous les corps connus.

Autres pierres précieuses. — L'alumine, pure et cristallisée, fournit la pierre la plus dure après le diamant. On lui donne différents noms suivant sa coloration : *corindon* (incolore), *rubis oriental* (rouge), *topaze orientale* (jaune), *saphir* (bleu,) *améthyste* (violet). On en trouve aux Indes, à Ceylan, au Thibet, au Brésil, en Australie (sables aurifères de Victoria), en Tasmanie, aux îles Flinders, en Pensylvanie près Unionville (États-Unis), en Sibérie. Ces pierres valent plus que le diamant quand leur poids dépasse trois karats.

La silice cristallisée donne des pierres semblables à l'alumine, mais d'une valeur bien moindre : quartz (incolore), faux rubis (rouge), fausse améthyste (violet), fausse topaze (jaune), etc. Le *strass* imite parfaitement à son tour ces pierres de silice. On trouve ces cristaux de silice souvent à profusion : au Brésil (Serra dos Cristães, province de Goyaz), en Bohême (rubis), au Japon, aux États-Unis, dans l'Oural, en Turquie (montagne du Tachova), à Oberstein ; dans les Alpes du Valais et du Dauphiné, à Alençon (quartz enfumé), en Vendée, etc. Le quartz s'employe surtout en optique. Vernon Boys a imaginé de fondre le quartz et de l'étirer en fils, constituant d'excellents isolateurs pour les instruments d'électricité.

L'*opale* à reflets irisés, plus chère que le diamant, vient surtout du Mexique (Queretaro), de San Salvador, de la Hongrie ; c'est de la silice hydratée. L'*agate*, la *calcédoine*, la *cornaline*, la *chrysoprase*, le *jaspe*, variétés de silice, sont recherchées pour la joaillerie et l'ornementation. Les anciens se servaient beaucoup de l'agate pour faire des pierres gravées, dites *camées*. On

colore artificiellement toutes ces pierres. L'agate vient surtout de l'Auvergne, d'Irlande, d'Islande, de Sicile, d'Oberstein (Prusse Rhénane), du Brésil. Le jaspe se trouve en Italie, en Sicile, en Sibérie, et à Saint-Gervais (Savoie).

L'*émeraude*, silicate d'alumine et de glucine, d'une belle couleur verte, se rencontre dans les micaschistes de la Haute-Égypte, au mont Zabarah, à Mursinsk dans l'Oural, à Musso, près Santa-Fé-de-Bógota (Nouvelle-Grenade, Amérique du Sud), à Heubachthal près de Saltzbourg, en Autriche. On exploite à Chanteloube (Haute-Vienne) une émeraude incolore, sans valeur, utilisée pour paver la ville de Limoges.

On recherche encore une multitude d'autres pierres : le *grenat* rouge, du Brésil, etc., qu'on trouve en abondance, mais sans valeur, dans certaines roches des Pyrénées ; le *zircon* des volcans du Vicentin en Italie, d'Expailly, du Puy, en France, du mont Nourat en Boukharie ; le *béryl* ou aigue-marine de la Sibérie orientale, sur les frontières de Chine ; la *tourmaline* du Brésil (Bahia) ; la *turquoise* d'Akaba, à la pointe de la presqu'île du Sinaï et à Méched, en Perse ; le *lapis-lazuli* du lac Baïkal, du Thibet, de la Boukharie ; le *labrador*, sorte de feldspath ; la *marcassite* ou pyrite de fer ; le *jade* de la Chine et du Jura ; l'*obsidienne* qui est une lave ; le carbonate de chaux nacré du Derbyshire ; la *malachite* ou carbonate de cuivre de Sibérie ; l'*hyacinthe*, l'*amphibole*, le *disthène*, l'*épidote*, le *pyroxène*, l'*idocrase*, l'*outremer*, le *succin*, etc.

Les coquilles et les perles servent aussi dans la joaillerie : le *grand casque* des Indes, pour camées, la *nacre*, le *burgos*, coquille à plus beaux reflets que la nacre, etc.

Imitation des pierres précieuses. — Le *carborandum* a été fabriqué en 1891 à Monongabela City (Pensylvanie), aux États-Unis, par M. Acheson, en faisant passer un courant électrique intense à travers un mélange de sable et de charbon. C'est une combinaison de charbon et de silicium, aussi dure que le diamant et pouvant servir à tailler cette pierre précieuse. Il se présente sous l'apparence d'une poussière cristalline et phosphorescente. L'usine de M. Acheson en fabrique 200 kilos par

jour. On l'utilise pour faire des meules artificielles, des pierres à polir, à repasser.

Un grand nombre de chimistes, Berthier, Mitscherlich, Gaudin, Ebelmen, de Sénarmont, Daubrée, Sainte-Claire-Deville, Caron, Frémy, Feil, Despretz, Hautefeuille, Friedel, etc., ont imaginé des réactions permettant de reproduire artificiellement les cristaux employés par la joaillerie. Ces cristaux, généralement microscopiques, représentent des curiosités de laboratoire, non des produits utilisables. Cependant, en 1878, MM. Frémy et Feil ont obtenu du rubis artificiel dont la joaillerie pourrait tirer parti si le prix de revient n'était pas encore supérieur à celui du rubis naturel. Le procédé consiste à chauffer longtemps, pendant une semaine, un mélange d'aluminate de plomb et de silice, avec adjonction de bichromate de potasse. L'oxyde de cobalt donne du saphir à la place du rubis.

Camées. — Les camées sont des sortes de tableaux exécutés sur des agates, des onyx, des jaspes, des coquilles marines. Cet art, originaire probablement de la Grèce antique, fut cultivé par les Romains, puis à l'époque de la Renaissance. Il eut un grand éclat en France sous Henri IV, puis il tomba dans l'oubli. Repris au xviiie siècle par les Italiens, il passa ensuite en Angleterre, puis revint en France. Les Anglais gravèrent surtout des cachets. Les plus beaux camées s'exécutent actuellement à Rome, à Florence, à Venise, à Naples et à Paris. Ils servent à ornementer les épingles, les plaques, les colliers, les broches, les boîtes, les tabatières. La pierre se creuse avec de la poudre de diamant, au moyen d'un tour qui fait mouvoir des molettes en fer doux. L'artiste termine à la main ce travail d'ébauche.

Statistique. — Les grandes maisons de joaillerie se trouvent en France, surtout à Paris, à Lyon et à Bordeaux. Septmoncel et les villages voisins du Jura ont la spécialité de la taille de toutes les pierres précieuses, vraies ou fausses, sauf le diamant. Cette industrie y date de 1735. L'Italie occupe le premier rang par ses belles restitutions de l'art grec, romain, byzantin et toscan. Londres, Birmingham et Manchester sont des centres d'exportation. L'Allemagne, surtout Pforzheim, Francfort, le

Wurtemberg, la Bavière, Berlin, le Nassau, exportent aussi beaucoup ; le commerce de la joaillerie s'y trouve concentré entre les mains des juifs. La Bohême fait la joaillerie des grenats, la Hongrie celle des opales. Citons aussi la joaillerie russe, d'un goût exquis, qui utilise les belles pierres de l'Oural et de la Sibérie.

II. — MONNAIES.

Les hommes ont d'abord fait usage, pour leurs transactions commerciales, de monnaies de perles et de coquilles, comme cela se pratique encore de nos jours chez certaines peuplades d'Amérique et d'Afrique. L'emploi de l'or, de l'argent et du bronze date d'une civilisation déjà avancée. Ces métaux, réduits en lames, se découpaient en ronds avec des cisailles ; les dessins se gravaient en plaçant chaque rond sur une enclume gravée, puis recouvrant d'un coin gravé et frappant au marteau : on imprimait ainsi les deux faces à la fois. La tranche ne portait aucune gravure.

En 1547, on inventa le balancier pour remplacer le marteau. Une vis, engagée dans un écrou et surmontée d'un levier armé de boules, écrasait le coin supérieur quand on lui donnait un mouvement de rotation. On se sert encore actuellement du balancier pour la frappe des médailles. Castaing, en 1685, imagina une machine pour imprimer les monnaies sur la tranche au moyen de deux coussinets formant gorge. Enfin, en 1817, Diedrich Uhlhorn, en Allemagne, inventa la presse monétaire, perfectionnée ultérieurement par Thonnellier, encore en usage actuellement. La presse monétaire est actionnée par une machine à vapeur ; elle imprime jusqu'à 2400 pièces à l'heure. Cette machine, depuis 1830, frappe en même temps les faces et les tranches, non plus en caractères en creux, comme jadis, mais en relief, ce qui a l'avantage d'empêcher de rogner les bords.

Les coins ont également reçu de grandes améliorations ; fabriqués en acier, ils peuvent frapper sans usure jusqu'à 120 000 pièces, alors que les anciens coins étaient hors d'usage après 20 000 pièces. La gravure de ces coins, fort difficile,

exige des artistes très habiles, à cause de son faible relief.

Le contrôle des pièces s'effectue mécaniquement. On les pesait jadis, procédé long et fastidieux ; on se sert actuellement de balances automatiques, inventées en France et en Angleterre, vers 1875. La balance, capable de vérifier jusqu'à 10 000 pièces par jour, rejette dans des compartiments spéciaux les pièces de poids légal, celles trop légères et celles trop lourdes.

La France, depuis le commencement du XIXe siècle jusqu'en 1837, posséda jusqu'à 18 établissements monétaires. On les réduisit successivement; en 1858, il restait ceux de Paris, Bordeaux, Lyon et Strasbourg. Enfin, depuis 1878, la monnaie se fabrique exclusivement à Paris, dans un palais édifié sur les bords de la Seine, sur le quai Conti, à la fin du règne de Louis XV. La Monnaie de Paris frappe, non seulement pour la France, mais aussi pour les pays étrangers, les monnaies, les médailles commémoratives et de concours, les jetons de présence, etc. Pour ces derniers usages, elle accepte les coins gravés par les particuliers et les métaux servant à la fabrication. On a conservé l'établissement monétaire de Bordeaux en prévision d'un siège de Paris, mais on n'y frappe pas de monnaies en temps ordinaire.

Plusieurs pays possèdent uniquement de la monnaie d'or. La France a conservé la monnaie d'argent dont la valeur est arbitraire comme celle de cuivre. La pièce de cinq francs ne vaut actuellement que 3 fr. 50 d'or. Cette dépréciation de l'argent provient d'un accroissement trop considérable dans la production de ce métal. L'argent, qui valait de 218 à 230 francs le kilo jusqu'en 1869, tomba brusquement à 187 francs en 1879 et même à 155 francs en 1889. Le stock d'argent non employé s'élève annuellement à 600 millions de francs.

III. — ORFÈVRERIE.

L'orfèvrerie date de l'origine même de la civilisation; les hommes ont utilisé l'or et l'argent, dès qu'ils eurent connu ces métaux, pour en fabriquer des objets de parure ou d'usage

domestique. Il reste fort peu de traces de l'orfèvrerie ancienne, car les objets en métaux précieux sont le plus souvent refondus pour d'autres usages; les vainqueurs s'emparent des bijoux ou des vases précieux et les refondent pour les transformer en monnaies ou en bijoux plus en rapport avec leurs goûts. On ne connaît donc que les rares objets enfermés dans les tombeaux, ayant pu échapper à la cupidité des hommes.

L'orfèvrerie était déjà un art très avancé chez les Égyptiens, les Phéniciens, les Grecs, les Étrusques, les Romains. L'orfèvrerie religieuse prit un grand développement pendant le moyen âge ; à la Renaissance, elle redevint élégante et gracieuse. Plus tard, nous la trouvons fastueuse sous Louis XIV, capricieuse sous Louis XV, simple et austère sous Louis XVI. Elle disparaît un instant sous la Révolution, puis reparaît sous l'empire, mais sans style approprié à l'époque, et ne cherchant plus qu'à imiter l'antique. Elle s'est affranchie actuellement de toute imitation servile, mais sans trouver encore un cachet original.

La figure humaine ne convient pas à l'orfèvrerie ; il lui faut surtout des formes géométriques qui charment par leur éclat et par leur ensemble. On distingue la grosse orfèvrerie pour service de table, la petite orfèvrerie (manches et lames de couteaux, pelles à poisson, à beurre, à fromage, pinces à sucre, passoires pour thé, timbales, tasses, porte-monnaie, porte-cigares, tabatières, etc.); l'orfèvrerie d'église (calices, ostensoirs, burettes, encensoirs) et l'orfèvrerie artistique, qui comporte les objets les plus divers pour la parure et l'ornementation.

L'orfèvre fabriquait jadis la pièce entière : il dessinait, sculptait et ciselait; tout se faisait par lui-même. Les choses ont changé et la division du travail est actuellement poussée à l'extrême. Au lieu de faire tout à la main, on emploie des procédés mécaniques, introduits depuis le XIXe siècle par les Anglais d'abord, puis par les Français et les Allemands. Ces procédés mécaniques ont abaissé les prix, fait pénétrer l'orfèvrerie dans toutes les classes du peuple et contribué à vulgariser le goût des belles choses; on édite actuellement les cuillers et les fourchettes comme un journal ou un roman.

On coulait jadis l'or et l'argent dans un moule, ou bien on lui donnait grossièrement la forme voulue par battage de feuilles plus ou moins épaisses. On coulait à l'intérieur de l'enveloppe un mastic à base de résine, puis on façonnait les détails par le procédé du *repoussage*, c'est-à-dire en repoussant le métal à coups de marteau. Le repoussage exigeait des ouvriers d'un très grand talent. On opère aujourd'hui par *estampage*, surtout pour les pièces communes, en repoussant le métal dans une forme creuse au moyen de blocs en plomb, mus par un balancier ou un mouton.

Les *ciseleurs* achèvent les pièces repoussées ou estampées; les *graveurs* ornent ensuite en se servant du burin ou de l'eau forte. Les *guillocheurs* forment enfin des fonds quadrillés ou vermiculés sur fonds unis. Toutes ces opérations s'effectuent maintenant par des procédés mécaniques.

L'orfèvrerie française jouissait déjà d'une grande renommée avant la Révolution; mais, à cette époque, on transforma tous les trésors en monnaie et les ouvriers s'exilèrent à l'étranger. Les traditions anciennes disparurent; sous l'empire commença l'usage des procédés d'estampage usités en Angleterre.

Paris et quelques grandes villes, Lyon, Bordeaux, Marseille, possèdent des orfèvres remarquables. On compte près de deux cents orfèvres à Paris, travaillant l'or, l'argent, le cuivre, l'étain et le nickel. Citons les maisons Christofle et Cie, Bapst, Sandoz, Froment, Fannière, etc.

L'orfèvrerie anglaise rivalise avec celle de la France. Les maisons Hunt et Roskell, Elkington et Cie, de Londres, comptent parmi les plus importantes du monde. Le goût a fait de grands progrès en Angleterre depuis un siècle. L'Allemagne possède quelques bons orfèvres, surtout à Berlin; on fabrique à Nuremberg, à Heilbronn, à Hanau près de Francfort, de l'orfèvrerie légère, d'un titre inférieur et d'un bon marché incroyable.

Vienne, capitale de l'Autriche, est renommée pour ses produits.

L'Italie acquit une grande célébrité dès le moyen âge pour son orfèvrerie ; Benvenuto Cellini fut un artiste incomparable

à l'époque de la Renaissance. Après une décadence prononcée pendant le XVIIIe siècle, les orfèvres de Rome, de Florence, de Naples, de Milan, de Turin, de Venise, revinrent aux saines traditions de l'antiquité.

Saint-Pétersbourg et Moscou fabriquent une orfèvrerie originale, d'une très grande richesse, destinée principalement aux églises et aux couvents, se faisant remarquer par la variété de ses couleurs. La Russie possède aussi la spécialité des tissus d'or, industrie importée par les ouvriers de Byzance, chassés de cette ville à la suite de sa conquête par les Turcs.

Signalons encore, en Europe, l'orfèvrerie si originale du Danemark, de la Suède et de la Norvège, celle de l'Espagne dont les progrès sont remarquables, celle de la Turquie au goût oriental; mentionnons enfin, en Suisse, la fabrication des couverts en argent, destinés à être offerts comme prix dans les tirs à la carabine.

En dehors de l'Europe, il nous faut également citer les États-Unis qui fabriquent énormément grâce à un formidable outillage; la Perse, aujourd'hui bien déchue; l'Inde, dont les produits se font remarquer par l'excellence des formes et de la décoration, dignes de servir de modèles à la France; le Japon, qui imite à la perfection les plantes, les oiseaux et les insectes.

IV. — BIJOUTERIE.

La bijouterie est une forme particulière de l'orfèvrerie : c'est l'orfèvrerie appliquée à la parure des dames et des hommes. Elle emprunte aussi ses pierres et ses perles à la joaillerie.

Les hommes et surtout les femmes ont eu la passion des bijoux dès les premiers âges de la civilisation; on trouve la bijouterie très développée chez les peuples les plus sauvages. Les ornements consistèrent d'abord en cailloux, en coquillages et perles, en ambre, puis en or massif, en bronze, en fer et en verres colorés. Les Égyptiens, les Grecs, les Romains, les Étrusques possédaient des bijoutiers d'une habileté remarquable.

Le moyen âge se signale par une grande pénurie de bijoux ; ceux-ci reparaissent à la Renaissance avec toute leur beauté antique. L'Italie, puis la France, furent les pays où la bijouterie réapparut avec le plus d'éclat. Le XVIIIe siècle fut un siècle de décadence. On inventa la bijouterie fausse : apparurent alors le plaqué, le doublé, les alliages imitant l'or, le strass et les perles artificielles.

Les bijoux d'or et d'argent se composent, comme les monnaies, d'alliages de ces métaux précieux avec du cuivre, afin d'obtenir plus de dureté. Les bijoux d'or s'altérant à la surface à cause de la présence du cuivre, on leur redonne de l'éclat en les lavant avec de l'eau de savon. Afin d'empêcher les bijoux d'argent de se ternir, on les chauffe au rouge et on les plonge dans de l'acide sulfurique étendu d'eau : le cuivre se dissout à la surface et il reste une couche d'argent pur qu'on polit.

On imite l'or avec du cuivre allié au zinc et à l'étain (*similor*, *chrysocale*), avec le *bronze d'aluminiun* (aluminium et cuivre). On imite l'argent avec le *cuivre blanc* ou *packfond chinois* (cuivre, nickel, zinc et fer), avec le *maillechort* qu'on fabrique en grand à Berlin, à Vienne, à Elberfeld. Le maillechort, imitation du packfond, possède moins de blancheur que ce dernier.

La bijouterie fausse fait un grand usage du *plaqué* ou *doublé*, c'est-à-dire de cuivre recouvert d'une mince couche d'or ou d'argent, parfaitement adhérente. Le plaqué, déjà connu des anciens, prit un grand développement à partir de 1742, année où Thomas Bolsover, de Sheffield, l'appliqua à la confection des manches de couteau. Birmingham en fit aussitôt usage pour la fabrication de la vaisselle d'or et d'argent. Le plaqué apparut en France sous Louis XVI, vers 1785 ; il devint l'une des branches principales de l'industrie parisienne à partir de 1827. La bijouterie fausse, mal accueillie au début par l'administration qui perdit plusieurs procès, se développa librement moyennant un poinçonnage particulier. On a atteint une perfection telle qu'il devient impossible de distinguer un bijou en doublé d'un véritable bijou en or. Le cuivre doré par la galvanoplastie fait une grande concurrence au doublé.

La bijouterie en acier poli a pris naissance en Angleterre et en Allemagne au XVIIIe siècle ; Paris en fabrique beaucoup actuellement. Elle consiste en perles facettées pour broderies et garniture d'épées, en fermoirs de sacs, boucles de toilette, garnitures de portefeuilles, broches, chaînes, etc.

La petite bijouterie en fonte fut créée par la fonderie royale de Berlin, à qui revient d'ailleurs l'honneur d'avoir appliqué pour la première fois la fonte à des œuvres d'art. Il s'en fabrique beaucoup à Offenbach, dans la Hesse. On en fait surtout des éventails, des garnitures de cheminée, de petits objets de fantaisie. La fonte employée, très phosphoreuse, est excessivement fusible ; on la coule dans des moules en tripoli, donnant une grande finesse aux moindres détails.

Le *jais* ou *jayet*, qu'on extrait de Sainte-Colombe (Aude), des Hautes-Alpes, des Asturies, de la Prusse, sert dans la fabrication de la bijouterie de deuil. Trop fragile et trop combustible, le jais se remplace le plus souvent par du verre noir ou de la fonte.

Nous devons mentionner quelques procédés fort curieux, particuliers à la bijouterie.

Au *filigrane*, tissu à mailles fabriqué avec des fils d'or et d'argent, est probablement due l'origine même de la bijouterie. Les bijoux en filigrane proviennent principalement de la Norvège, du Portugal, de Gênes, de Malte, de l'Algérie, de la Turquie et de l'Inde.

Le *nielle*, art très ancien, inventé par les Égyptiens, est encore très répandu en Orient. Il existe des ateliers importants de niellure à Vologda et à Toula, en Russie. Les bijoux d'argent sont d'abord gravés au burin ; on remplit ensuite les traits d'un mélange d'argent, de cuivre, de plomb, de soufre et de borax, le tout réduit en poudre fine. On porte au four : il se produit un sulfure noir qui comble les vides, et il ne reste plus qu'à polir. Les effets obtenus par la niellure sont très artistiques.

La *damasquinure* est connue des Chinois et des Japonais depuis une très haute antiquité. Les objets damasquinés arrivèrent d'Extrême-Orient en Europe, au XVIe siècle, en passant par

l'Inde, puis par Damas, d'où le nom qu'on leur a attribué. Les Espagnols, les Maures, les Italiens (Florence et Milan), les peuples de l'Orient ont appliqué la damasquinure à l'ornementation des armes. Le métal est creusé d'entailles profondes, distribuées comme celles d'une lime, puis on entrelace autour des aspérités des fils d'or et d'argent, de manière à produire des dessins variés. On chauffe pour amollir ces fils et on les écrase avec un brunissoir. L'or et l'argent s'incrustent dans les entailles et adhèrent avec force.

On a perfectionné ce procédé trop lent : on creuse les traits, non plus au burin, mais à l'aide de l'acide nitrique ou encore par l'action galvanique. La gravure galvanique fut inventée en 1867 aux États-Unis ; on recouvre le métal d'un dessin, découpé sur papier, on le suspend au pôle positif d'un bain d'or ou d'argent, et le métal est rongé dans les parties non protégées par le papier.

L'*incrustation rasée* consiste à creuser profondément le métal qui forme support, à combler les vides en y repoussant de l'or ou de l'argent, puis à polir la surface. Cette incrustation a été très employée par les Orientaux et les Égyptiens pour orner leurs armes, leurs statues de bronze et leur ameublement. La fonderie royale de Berlin a tenté de ressusciter cet art.

L'*incrustation en relief*, originaire du Japon, produit des effets plus grandioses. Les vides sont comblés avec des fils d'or ou d'argent, de manière à produire un relief qu'on modèle et qu'on cisèle. Très en honneur sous Henri IV, ce procédé fut abandonné, puis repris dans ces derniers temps.

Les *émaux* prennent de plus en plus une grande importance dans la bijouterie et l'orfèvrerie. La Renaissance, dont les secrets sont perdus, avait déjà produit des chefs-d'œuvre admirables. Ce genre de fabrication présente de grandes difficultés. On recouvre le métal d'une poudre de cristal, souvent coloré avec des oxydes métalliques, puis on porte au four : la poudre fond et adhère au métal. Tantôt l'émail est transparent, laissant apercevoir les fonds unis ou guillochés ; tantôt l'émail coloré se fixe sur une couche sous-jacente d'émail stannifère, blanc et opaque. Dans

tous les cas, la poudre d'émail, mise en suspension dans l'eau, s'étend au moyen d'un pinceau ; il faut autant de fusions successives que de couches superposées. La grande difficulté consiste à composer des poudres possédant la même température de fusion.

On distingue plusieurs variétés d'émaux :

Les émaux, ancienne gloire de Limoges, sur cuivre, dont les fonds sombres (noirs, bleus ou violets) portent des dessins blancs avec paillons d'or ou d'argent, le tout recouvert d'un émail transparent ;

Les émaux *cloisonnés*, originaires du Japon, où les différentes teintes sont encastrées entre de minces bandelettes de cuivre formant les contours du dessin ;

Les émaux *champs-levés*, sortes d'émaux cloisonnés, où l'émail est enfermé dans des cavités qu'on creuse dans le métal avec de l'eau-forte, en réservant des cloisons pour les contours ;

Les émaux de *basse-taille*, translucides, déposés sur des creux ciselés dans l'or, avec des épaisseurs différentes pour obtenir le relief ;

Les émaux imaginés par Tontin et Petitot, sur fonds blancs, où des poudres diversement colorées se déposent comme dans une peinture.

Signalons enfin les émaux en mosaïque, montés en bijoux, que les Italiens excellent à fabriquer par assemblage de petits fragments de baguettes en émail.

La bijouterie française, sans rivale dans le monde, se fait remarquer par le goût, la fécondité d'invention. Le plus grand centre de fabrication est Paris. L'Allemagne nous fait une grande concurrence, grâce au bon marché de la main-d'œuvre et à son outillage plus perfectionné. Vienne, en Autriche, utilise surtout les grenats et autres pierres précieuses de la Bohême.

L'Angleterre possède des bijoutiers très habiles ; l'Écosse se distingue par son originalité.

L'Italie cherche à imiter les bijoux étrusques. Rome, Naples, Gênes, sont célèbres pour leurs filigranes, Naples pour ses coraux, Rome et Florence pour leurs mosaïques. L'Espagne,

très habile dans ses incrustations d'or et d'argent, excelle dans la damasquinure.

La Suisse fabrique à bon marché; ses anciens émaux sont fort recherchés. Les bijoux du Danemark, de la Suède, de la Norvège, de style runique, sont remarquables par leur originalité. Les nielles de Russie sont d'une grande beauté.

Toutes les grandes villes de l'Algérie se livrent à une fabrication indigène très active. Les Kabyles possèdent une adresse remarquable.

Signalons enfin la bijouterie des peuples orientaux, des Indiens, des Persans, des Chinois, des Japonais, des Malais, des Birmans, qui ornementent leurs armes avec un luxe extraordinaire.

V. — MÉTAUX D'ART.

L'homme a utilisé les métaux depuis la plus haute antiquité, pour obtenir des objets d'art et d'ameublement, des motifs de décoration monumentale. L'or et l'argent, les premiers connus et les plus facilement maniables par le marteau, servirent d'abord pour la bijouterie et l'orfèvrerie. Plus tard, on put travailler le bronze et produire d'admirables œuvres d'art. Le plomb, le fer, le cuivre, le zinc, la fonte, d'autres métaux encore, furent mis à contribution dans ces derniers temps pour la décoration des appartements ou des monuments. Comme chez les peuples de l'antiquité, notre époque moderne cherche à donner une forme élégante aux ustensiles les plus ordinaires. M. Barbedienne, qui a tant contribué à la vulgarisation de l'art des métaux, désirait voir donner des formes artistiques aux articles même à bon marché. « Une forme simple, bien choisie, d'exécution facile, ne demandant que peu de main-d'œuvre, peut suffire pour qu'un objet de bas prix appartienne encore au domaine artistique. »

Bronzes d'art. — Le bronze fut le métal toujours préféré pour la reproduction des œuvres d'art. « Chaque peuple semble avoir confié à ce noble métal le soin de transmettre aux générations les manifestations de son génie particulier. » Le bronze

doit ce privilège à sa belle couleur, à la facilité de son moulage et de sa ciselure. Très employé par les Grecs et les Romains, il disparut au moyen âge, reparut avec éclat à la Renaissance, puis déclina de nouveau. Il reprit sa splendeur en France sous Louis XIV. L'empire et la restauration furent chez nous une nouvelle époque de décadence ; dans ces dernières années, Barbedienne, Barye et d'autres artistes répudièrent courageusement la fantaisie de mauvais goût, imitèrent la nature dans son admirable vérité et le bronze d'art retrouva ses qualités exquises de l'antiquité et de la Renaissance.

En outre de son emploi pour la reproduction des œuvres des statuaires, le bronze sert encore la fabrication des pendules, des candélabres, des lustres et autres appareils d'éclairage, des garnitures de bureau, des porte-cigares, etc.

Le bronze a d'abord été modelé par le martelage.

« Le moyen de faire sortir d'une feuille ou d'une planche de métal, à l'aide du martelage, un relief quelconque, une figure ou un ornement, semble remonter à l'origine même de l'emploi du bronze. Le mode de repousser le bronze, l'or et l'argent était en grand honneur chez les peuples civilisés de l'antiquité. Les statues, les ornements précieux, les boucliers, les bijoux, étaient pour la plupart travaillés au marteau. L'ère chrétienne, à son tour, en fit grand usage pour les vases sacrés, les tabernacles, tous les ornements du temple. Les Byzantins, le moyen âge et la Renaissance jusqu'à nos jours n'ont jamais cessé de marteler les métaux.

» Une application du repoussé semble vouloir reprendre, dans l'ornementation monumentale de nos jours, le rang qu'elle occupait au moyen âge et à la Renaissance : c'est celle des grandes figures et des ornements destinés à décorer l'extérieur des monuments publics, soit avec du plomb, soit avec du cuivre. Ce procédé offre le double avantage de la durée et de la légèreté. » (BARBEDIENNE, *Rapport sur l'Exposition de 1867.*)

Ajoutons que le cuivre repoussé a été utilisé, dans ces dernières années, pour la construction de statues gigantesques (statue colossale de *Vercingétorix*, à Alise, d'Aimé Millet ; sta-

tue de *la Liberté éclairant le monde* et le *Lion de Belfort*, par Bartholdi).

Le repoussé a fait place aujourd'hui au coulage. De grands artistes donnent les modèles, qu'on peut augmenter ou réduire à volonté au moyen d'un appareil imaginé par le mécanicien Achille Colas. On moule ensuite le modèle, opération extrêmement délicate : les noyaux doivent être très bien ajustés, de manière à donner au métal le moins d'épaisseur possible, la surface du bronze devenant d'autant plus fine que cette épaisseur est plus faible. La matière composant le moule joue également un grand rôle. Le bronze, fondu dans des creusets, se coule dans les moules. Il faut ensuite ciseler, travail lent et onéreux, exigeant des ouvriers fort habiles. La ciselure a pour but de corriger les défauts du moulage, de reproduire le modèle avec toutes ses finesses pour faire renaître la pensée de l'artiste.

La dernière opération consiste dans la monture, c'est-à-dire la soudure et l'assemblage des différentes pièces obtenues par le moulage. C'est encore un travail fort pénible et demandant une grande habileté. Certains objets se coulent en un seul bloc, par le procédé dit à la *cire perdue*, d'une exécution extrêmement délicate. On évite ainsi un assemblage souvent défectueux, mais ce procédé ne peut s'appliquer qu'aux pièces de grand luxe, à cause de son prix excessif.

La fabrication du bronze d'art se subdivise donc en plusieurs opérations distinctes, s'effectuant dans des ateliers différents et ayant chacun leur spécialité. Le fondeur porte les pièces chez le ciseleur qui les donne lui-même au monteur. Le monteur a souvent recours, en fin de compte, au doreur.

L'industrie du bronze d'art a pris une grande extension à Paris depuis 1840, grâce aux travaux des Ravrio, des Thomire, des Denière, etc. Aucune ville au monde ne peut rivaliser avec les produits parisiens. Les œuvres sortant des maisons Barbedienne, Thiébaut frères, Beurdeley, Christofle, Gagneau, Randier, etc., font l'admiration de tous les amateurs.

Vienne, capitale de l'Autriche, lutte avec Paris. Les bronzes

d'Angleterre, d'Allemagne, de Belgique, d'Italie, sont également remarquables. La Russie fait de grands progrès.

La Turquie, le Maroc, la Tunisie, l'Égypte, la Perse, travaillent le cuivre au repoussé avec une habileté et une délicatesse extrêmes.

La Chine et le Japon sont en décadence, après avoir produit des bronzes d'art d'une perfection sans égale dans les siècles précédents. Le Japon a imaginé des procédés particuliers pour donner au bronze des colorations merveilleuses, encore inimitables en Europe, sauf pour le noir et le rose qui s'obtiennent par sulfuration et oxydation du cuivre. L'alliage, composé de cuivre, de plomb et d'étain, se coule en plaques minces. Chaque plaque, vernie, puis gravée au burin, se plonge dans un bain argentifère : l'argent se dépose sur chaque trait. On porte la plaque au four : le bronze se colore par les procédés inconnus dont il a été question plus haut, tandis que l'argent se détache brillant et forme les dessins. Cette fabrication a été particulièrement étudiée par M. Henri Morin.

Fonte d'art. — L'application de la fonte de fer à la reproduction des œuvres d'art et à la décoration monumentale, remonte à une date récente, au commencement du XIXe siècle. La fonte de fer, grâce à son bon marché, a contribué plus qu'aucune autre matière à la vulgarisation de l'art monumental. Il faut couler le métal d'un seul jet, car la soudure et la ciselure ne sont plus possibles comme avec le bronze. Le moulage doit par conséquent se faire aussi parfait que possible et la fonte se choisir d'excellente qualité. La fabrication des petits objets ne peut avoir lieu dans de telles conditions ; il faut se borner à celle des pièces décoratives de grandes dimensions.

La fonte, essentiellement oxydable, doit se recouvrir d'une couche de cuivre par les procédés de la galvanoplastie. On n'est pas encore parvenu à donner à cette couche assez de résistance et d'adhérence.

Les pays produisant le plus de fonte d'art sont : la France (Val d'Osne, Brousseval, Bussy, Vassy, Sommevoire dans la Haute-Marne ; Givors dans le Rhône ; Marquise dans le Pas-de-

Calais; Sermaize dans la Marne, etc.), l'Angleterre (Sheffield) et la Prusse dont les produits sont supérieurs pour les pièces fines, minces et délicates.

Zinc d'art. — L'apparition du zinc dans le domaine des beaux-arts est un fait contemporain. La Prusse a imaginé, vers 1826, de fondre des ornements et des statuettes en zinc. Ce métal, cassant et oxydable, possède une couleur peu agréable. Il a fallu remédier à ces inconvénients. On l'a d'abord recouvert d'une peinture le protégeant contre l'oxydation et donnant la couleur du bronze. Puis, quand on eut inventé la galvanoplastie, on cuivra le zinc et l'on obtint des imitations de bronze d'un extrême bon marché. Le zinc d'art a l'immense avantage de propager l'art dans les demeures les plus pauvres.

Le coulage du zinc présente aussi des difficultés. On fondait au début les pièces en un bloc massif, procédé consommant trop de métal. En 1845, on parvint à laisser l'intérieur vide par un moyen aussi simple que singulier : le zinc étant coulé dans le moule, on laisse refroidir ; la surface se fige et on laisse écouler le métal encore fondu qui se trouve à l'intérieur.

En 1867, les fabricants français substituèrent des moules en bronze aux anciens moules en sable. Les moules en bronze coûtent cher, mais ils ont l'avantage de pouvoir servir indéfiniment.

La France, l'Allemagne et la Belgique sont à peu près les seuls pays où se fabrique le zinc d'art, principalement sous la forme de pendules. On dore avec une composition particulière, inventée par M. Mourey.

VI. — ÉLECTROMÉTALLURGIE D'ART.

1° Galvanoplastie. — La galvanoplastie fut découverte en 1837 par Jacobi, professeur à Saint-Pétersbourg, et, à la même époque, par l'Anglais Spencer. Elle permet de reproduire à l'infini et avec la plus entière exactitude, les œuvres d'art de la statuaire, statues, vases, bas-reliefs, médailles, planches gravées, clichés d'imprimerie, etc., avec des prix de revient extrême-

ment modiques. Elle a résolu ce problème en apparence insoluble : multiplier sans limite le chef-d'œuvre d'un artiste, possédé jadis par un seul, et le mettre à la disposition de tous. La galvanoplastie joue donc vis-à-vis de l'art le même rôle que l'imprimerie par rapport aux productions de la pensée.

On savait déjà depuis longtemps déposer du cuivre sur un moule métallique à l'aide du courant électrique, mais ce cuivre était pulvérulent et sans résistance. Jacobi parvint à obtenir un métal tenace et dur à la suite d'une observation due au hasard. Ce savant faisait sur la Néva des expériences avec un bateau à moteur électrique. Les piles de Daniell, dont Jacobi se servait pour actionner son moteur, avaient été livrées par un fabricant de Berlin, et il était spécifié dans le contrat de vente que les pôles en cuivre des piles devaient consister en métal de première qualité. Or, les expériences ayant échoué, Jacobi attribua son insuccès à la faiblesse des piles, examina les cuivres et les reconnut en effet altérés. Il se plaignit au fabricant de Berlin, lequel affirma que le métal vendu était d'excellente qualité. Bref, les cuivres ayant été examinés de très près, on reconnut que l'altération apparente provenait d'un dépôt de cuivre très adhérent et massif. Ce fut un trait de lumière pour Jacobi, qui eut aussitôt l'idée de suspendre le moule métallique à recouvrir de cuivre dans la solution de sulfate de la pile Daniell, de façon à en faire le pôle positif : il devait se déposer sur le moule un dépôt massif et adhérent de cuivre.

Les moules, au début de la galvanoplastie, devaient être métalliques ; on ignorait encore le moyen de déposer le cuivre sur une substance mauvaise conductrice de l'électricité. Ce fut Jacobi qui, grâce à une nouvelle observation due au hasard, parvint à résoudre le premier cette difficulté.

Jacobi continuait toujours ses expériences sur la Néva. Il avait marqué d'un G au crayon les vases poreux de ses piles qui fonctionnaient régulièrement. Or, les expériences terminées, il trouva tous les G recouverts de cuivre. Comme conclusion, on pouvait donc recouvrir de cuivre une substance quelconque, conduisant mal l'électricité, à la condition de l'enduire

d'une légère couche de la matière servant à fabriquer les crayons, c'est-à-dire de plombagine.

Les deux exemples que nous venons de citer montrent que le hasard sert parfois le savant, observateur capable de déduire d'un fait, simple en apparence, les conséquences les plus pratiques. Le vulgaire assiste également aux leçons de la nature, mais il ne sait ni les comprendre ni en tirer profit.

L'objet à reproduire ayant été moulé avec de la gutta-percha, de la cire ou de la gélatine, on recouvre ce moule de plombagine, ce qui rend sa surface conductrice de l'électricité, puis on le plonge dans une cuve contenant une solution de sulfate de cuivre et de l'acide sulfurique. On le met en communication avec le pôle négatif d'une source électrique constante; une lame de cuivre, en communication avec le pôle positif, trempe dans le même bain. Sous l'influence du courant, le moule se recouvre de cuivre et reproduit l'objet dans ses moindres détails.

On obtient un cuivre très dur, très pur, non poreux et très malléable, en ajoutant au bain de sulfate de cuivre un peu de nitrate de cuivre, des sels ammoniacaux et de la gélatine. Il est essentiel d'employer un courant très constant (pile de Daniell, pile thermoélectrique, machine dynamo à courant continu), et de ne pas sortir l'objet du bain, sinon le cuivre déposé se déforme, se boursoufle et ne résiste pas à l'action de la chaleur.

Le plombaginage du moule exige des précautions spéciales : on humecte le moule avec un peu d'eau, on le recouvre de plombagine pure et très finement pulvérisée, puis on frotte légèrement pendant un quart d'heure environ au moyen d'un pinceau ou d'une brosse très souple. Il est essentiel de ne pas altérer les fins détails du moule et de recouvrir exactement celui-ci de plombagine dans toutes ses parties.

Quand le moule est métallique, on le frotte également avec de la plombagine, mais seulement dans le but d'empêcher l'adhérence de la couche de cuivre déposée.

La reproduction des statuettes, en général des objets en *ronde bosse*, présente des difficultés particulières. Il faut commencer par mouler les différentes parties de l'objet et plombaginer les

surfaces destinées à recevoir la couche de cuivre ; on soude ensuite les divers fragments, de manière à constituer un moule creux, représentant exactement le modèle. On introduit dans ce moule des fils de platine ou de plomb, destinés à conduire le courant électrique dans un grand nombre de points de la surface plombaginée : on obtient de la sorte un dépôt plus homogène de métal. Le moule est également percé de quelques ouvertures, en haut et en bas, de manière à permettre la circulation de la dissolution de sulfate de cuivre dans son intérieur.

Il existe aussi un procédé simple pour diminuer la durée de l'opération et restreindre la quantité de cuivre déposé. Quand la couche de cuivre a atteint une épaisseur convenable, de quelques dixièmes de millimètre, on retire le moule du bain, on détache l'enveloppe de cuivre et on renforce son épaisseur en coulant un alliage de plomb et d'étain.

Voici, pour citer un exemple, comment on opère pour reproduire en cuivre un dessin gravé sur bois. On moule le dessin en comprimant fortement au moyen d'une presse une feuille de gutta-percha chauffée ; on peut encore comprimer le dessin sur un mélange de cire d'abeille (900 parties), de térébentine de Venise (135 parties) et de graphite pulvérisé (22 parties). La durée de la mise au bain est de dix à douze heures pour les bons clichés, de quatre heures seulement pour les clichés médiocres et qu'il faut obtenir rapidement pour le tirage des journaux quotidiens. Il ne reste plus qu'à enlever le moule par fusion, nettoyer la surface du cuivre avec du chlorhydrate de zinc (acide chlorhydrique saturé de zinc), étamer en frottant avec un chiffon de l'alliage à stéréotyper fondu, couler enfin un alliage de plomb (91 parties), d'étain (4 parties), d'antimoine (5 parties), dans le but de renforcer la couche de cuivre.

Dans le cas de la reproduction galvanoplastique d'une planche gravée sur cuivre ou sur acier, le moule est la planche elle-même qu'on a eu soin d'exposer aux vapeurs d'iode pour empêcher l'adhérence du cuivre. La planche, reproduite ainsi en *négatif*, sert à son tour pour obtenir une nouvelle planche *positive*, identique au modèle primitif.

2° Cuivrage des fontes. — Le même bain peut servir à recouvrir les objets d'art en fonte d'une couche épaisse de cuivre. La fonte, bien nettoyée à sec, est recouverte de trois couches de minium. On métallise la surface du minium avec de la plombagine, puis on plonge l'objet dans le bain et l'on opère comme dans la galvanoplastie. La fonte se recouvre d'une couche très résistante de cuivre.

La maison Oudry, d'Auteuil, a appliqué ce procédé à de grandes œuvres d'art en fonte : candélabres à gaz de la ville de Paris, fontaines de Vénus et de Diane aux Champs-Élysées, fontaines de la place de la Concorde, fontaine de Visconti au square Louvois, groupe de Millet couronnant l'Opéra, etc.

3° Électrochimie. — En 1840, deux ans après la découverte de la galvanoplastie, Elkington, de Birmingham et de Ruoltz, en France, inventaient la dorure et l'argenture galvaniques.

Dorure. — La dorure sur cuivre ou sur bronze se faisait primitivement en recouvrant le métal d'un amalgame d'or, frottant avec du nitrate de mercure, puis évaporant le mercure au feu. Ce procédé, très malsain pour les ouvriers à cause de l'intoxication par les vapeurs mercurielles, donnait des résultats excellents.

On eut ensuite recours à un autre procédé : on faisait des hachures sur le métal, on appliquait des feuilles d'or, on chauffait et on lissait avec le brunissoir. On évitait ainsi l'intoxication mercurielle, mais on n'obtenait qu'une dorure médiocre. La dorure galvanique a heureusement résolu le problème : résultats excellents et innocuité complète pour les ouvriers.

L'objet à dorer, parfaitement décapé, est plongé dans un bain formé d'une dissolution de cyanure d'or dans du cyanure de potassium ; on le fait communiquer avec le pôle négatif d'une source électrique. Une lame d'or, reliée au pôle positif, plonge dans ce bain qu'on chauffe à 60°. Sous l'action du courant l'objet se recouvre d'une couche d'or, aussi épaisse qu'on le désire.

On peut donner à l'or les tons les plus variés, depuis le rouge jusqu'au vert, en ajoutant au bain des cyanures d'argent et de

cuivre, et en se servant de lames composées d'alliages d'or, d'argent et de cuivre.

Argenture. — L'argenture galvanique se fait comme la dorure, mais avec une solution de cyanure d'argent dans le cyanure de potassium et une lame d'argent. Le bain n'a pas besoin d'être chauffé. On obtient tout de suite un dépôt brillant en ajoutant un peu de sulfure de carbone.

On peut également argenter le cuivre par le procédé dit *allemand.* On recouvre le métal d'un mélange d'azotate d'argent et de borax, le tout en poudre, puis on chauffe jusqu'à fusion. Cette argenture est excellente, mais chère. On argente aussi *à la feuille*, comme pour l'or.

On donne à l'argent la teinte *vieil argent* en le recouvrant d'une bouillie claire de plombagine, d'ocre rouge et d'essence de térébenthine. L'argent *oxydé* s'obtient à l'aide d'une solution de chlorure de platine dans l'éther ou l'alcool, ou encore en brossant avec du chlorure d'argent qui noircit à la lumière.

Afin de donner une idée de l'importance de l'argenture galvanique, nous citerons quelques chiffres de statistique relatifs à la maison Christofle. De 1845 à 1866, cette maison a argenté 8 millions de couverts, ayant exigé 48 000 kilos d'argent, d'une valeur de plus de 10 millions de francs. Ces mêmes couverts, en argent massif, auraient coûté 300 millions de francs. Ces chiffres montrent combien l'invention de l'argenture galvanique a contribué à vulgariser l'emploi des métaux précieux, jadis exclusivement réservés à la classe riche.

Platinage. — Le platinage galvanique du cuivre est peu employé. On préfère plonger le cuivre bien décapé dans une solution de 100 grammes d'eau, 10 grammes de chlorure de platine et 120 grammes de soude caustique.

Nickelage. — Le nickelage galvanique a pris une grande extension. On se sert d'une solution de sulfate double de nickel et d'ammoniaque et de carbonate d'ammoniaque ; on suspend une lame de nickel au pôle positif.

On peut encore, par les procédés de l'électrochimie, recouvrir le fer, la fonte et le zinc d'une couche de cuivre, puis argen-

ter ou dorer ; aciérer le fer (planches gravées), obtenir des dépôts d'étain et de plomb, etc.

Voici, par exemple, comment on opère pour l'étamage de la fonte. Le bain (procédé Maistrasse) est formé de :

Soude caustique à 3° Baumé	10 litres.
Protochlorure d'étain	1 gramme.
Cyanure de potassium	3 grammes.

Il convient de chauffer ensuite l'objet à 235°, température de fusion de l'étain, pour donner à la couche déposée une très grande résistance.

Le dépôt de plomb sur le fer ou la fonte s'effectue aussi facilement avec le bain suivant :

Potasse caustique	100 grammes.
Eau distillée	2 litres.
Litharge	10 grammes.

Il convient d'ajouter de temps en temps au bain un peu de litharge.

On peut encore se servir d'un bain obtenu par la dissolution de l'oxyde de plomb dans une solution de cyanure de potassium. L'oxyde de plomb se prépare en précipitant une solution d'acétate de plomb par de la potasse.

L'électrode positive doit être constituée par de l'étain ou du plomb, suivant qu'on veut déposer l'un ou l'autre de ces deux métaux.

INDEX ALPHABÉTIQUE

(Le chiffre romain indique le tome, le chiffre arabe entre parenthèses le fascicule, et le dernier nombre la page.)

D

E

F

H

I

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

X

Y

Z



TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

COMBUSTIBLES ET MINÉRAUX

CHAPITRE PREMIER

COMBUSTIBLES

CHAPITRE II

MÉTAUX PRÉCIEUX

CHAPITRE III

MÉTAUX COMMUNS

CHAPITRE IV

MÉTAUX PEU USUELS

DEUXIÈME PARTIE

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET INDUSTRIES CHIMIQUES

CHAPITRE PREMIER

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

CHAPITRE II

INDUSTRIES CHIMIQUES

CHAPITRE III

CHAPITRE IV

CHAPITRE V

VERRE

CHAPITRE VI

POTERIES

TROISIÈME PARTIE

INDUSTRIES MÉCANIQUES ET ARTISTIQUES

CHAPITRE PREMIER

QUINCAILLERIE ET MACHINES-OUTILS

CHAPITRE II

APPAREILS DE CHAUFFAGE ET D'ÉCLAIRAGE

CHAPITRE III

INSTRUMENTS DE PRÉCISION

CHAPITRE IV

MACHINES MOTRICES

CHAPITRE V

APPAREILS DE LOCOMOTION

CHAPITRE VI

ARMES

CHAPITRE VII

TRAVAIL ARTISTIQUE DES PIERRES ET DES MATÉRIAUX.



6969-94. — Corbeil. Imprimerie Crété.

